

メイラード反応に影響を与える要因について

班員 松生 希海、鈴木 彩花、谷口 怜楽、二俣 淳生
担当教諭 高橋 潤哉

キーワード：メイラード反応、メラノイジン、吸光度、鎖状構造

The Maillard reaction is the reaction in which sugar reacts with amino acids to produce melanoidin. This reaction is affected by the combination of sugar and amino acids. So, we generated the Maillard reaction by using various kinds of sugars. From our research, we found that the pH value of the solution and the number of the chain structures influenced the reaction. Furthermore, we found that aldose may react more often than ketose.

1 はじめに

玉ねぎを長時間加熱すると、飴色になることに疑問を感じ、調べてみると、メイラード反応の一種であることがわかった。メイラード反応とは、還元糖とアミノ化合物が加熱により反応し、褐色の高分子色素メラノイジンを生成する反応である。

メイラード反応について、先行研究から以下のことが分かっている（広島国泰寺高校, 2016、村田, 2019）。

- ① 初期反応で、アミノ酸のアミノ基にある窒素原子が還元糖のカルボニル基にある炭素原子に攻撃して、脱水重合することでシッフ塩基になる。シッフ塩基の二重結合が転移してアマドリ化合物になり、中期段階に移行する（図1）。
- ② 中期段階ではアマドリ化合物から種々のカルボニル化合物が形成され、後期段階に移行する（図1）。
- ③ 後期段階でアミノ酸と反応してメラノイジンなどの高分子化合物が形成され、着色・褐変する（図1）。
- ④ pHの値やアミノ酸の構造がメイラード反応の進行に影響する。

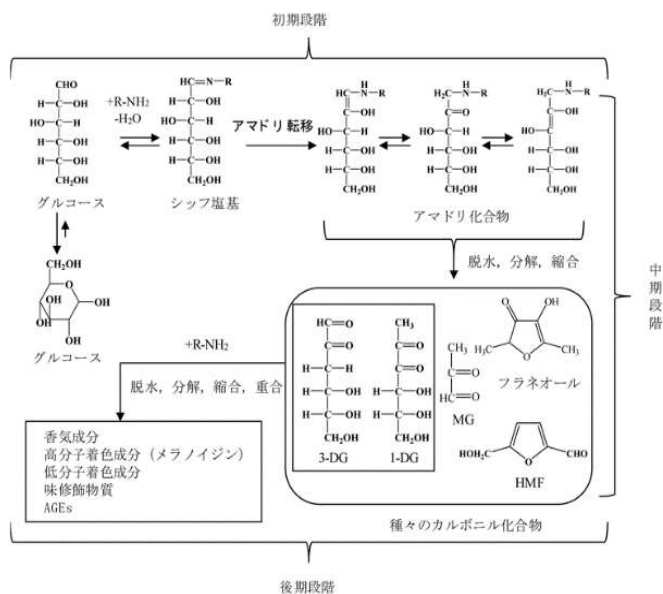


図1. メイラード反応のアウトライン(村田, 2019より)

この反応は様々な食品で起こり、玉ねぎが飴色になった状態以外に、肉の焦げ目や赤みにもメラノイジンは含まれる。メラノイジンは抗酸化作用など、多くの生理機能を持つため、人体への良い影響が期待されるが、同時に発がん性物質であるアクリルアミドを生成するため、それらの制御が重要となる（三浦 2002）。本研究では、メイラード反応の進行に影響する要因、つまり、メイラード反応を促進、または抑制する要因について調べることを目的とした。

アミノ酸が陰イオンでアミノ基が -NH_2 のときは非共有電子対を持つため、カルボニル基の炭素原子に攻撃することができる。しかし、陽イオンや双性イオンでアミノ基が -NH_3^+ のときは水素原子が結合しており非共有電子対を持たないため、攻撃できなくなる。

これらのことから、溶液の塩基性が強いほど初期反応が起こりやすくなるため、メイラード反応は促進されると考えた。

また、単糖類のグルコースが二糖類のラクトースよりも反応が大きくなったことから、単糖類のほうが二糖類よりも反応が進みやすいのではと考えた。

実験2：糖の種類と反応の関係

<概要>

実験1の結果を踏まえて、糖の種類によって反応の進行にどのような差が生じるのか調べるために実験を行った。単糖類のガラクトース、フルクトース、マンノースと、二糖類のラクトース、マルトース、スクロースを用いて以下の実験・比較を行った。全てのpHを5.9に調整した。前述の方法でメラノイジン生成量を求めた。

<結果と考察>

スクロース以外の全ての溶液が褐変した。

単糖類は二糖類よりも反応した。ガラクトース、フルクトース、マンノース、グルコース、ラクトース、マルトース、スクロースの順にメラノイジン生成量が多くなった（図5, 表2）。

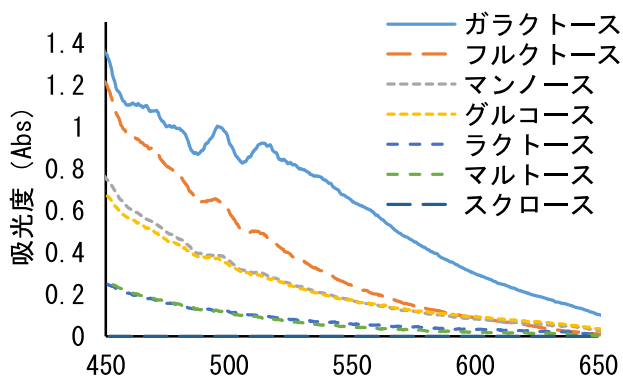


図4. 糖の種類と反応の関係 波長 (nm)

表2. 各糖のメラノイジン生成量比較 (450~650nm)

ガラクトース	フルクトース	マンノース	グルコース	ラクトース	マルトース	スクロース
126	71	57	46	16	14	0

結果より、スクロースを除く全ての糖でメイラード反応が起こったと考えた。

糖は溶液中で一定の割合（表3）でヘミアセタール構造の酸素原子と炭素原子の結合が切れ、鎖状構造になる。このとき、糖は還元性を示し、メイラード反応の初期反応が起きるようになる（図6）。

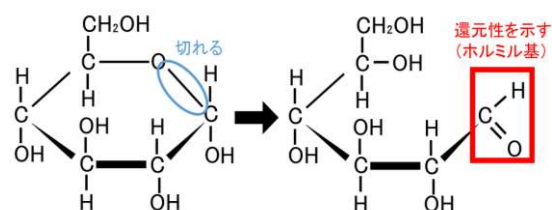


図6. 還元糖の鎖状構造化

水溶液中の鎖状構造の存在率は糖によって決まっている（表3, 大江ら 2020）。

表3. 水溶液中の鎖状構造の存在率（大江ら, 2020）

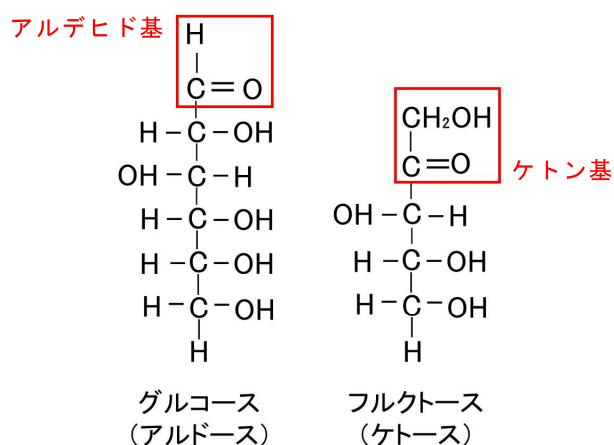
フルクトース	ガラクトース	マンノース	グルコース	ラクトース	マルトース	スクロース
0.7	0.02	0.005	0.002	—	—	0

マルトース、ラクトースの存在率については、文献に載っていなかったが、糖の炭素数が少ないほど存在率は高くなるため、二糖類は単糖類よりも鎖状構造の存在率は低いと考えた。表3と結果より、糖の水溶液中での鎖状構造の存在率が高いほどメラノイジン生成量が多くなる傾向があることがわかった。

スクロースはグリコシド結合によって開環できず、還元性を示さないため、メイラード反応が起きなかったと考えられる。

本研究で用いた単糖類のうち、ガラクトース、グルコース、マンノースはアルドースであるが、フルクトースはケトースである（図7）。

図 7. グルコースとフルクトースの鎖状構造



アルドースが持つアルデヒド基は酸化されやすく還元性が高いが、ケトースが持つケトン基は酸化されにくく還元性が低い。実験に用いたケトースのサンプルが少ないため確実ではないが、これによって、水溶液中での鎖状構造の存在率が最も高いフルクトースのメラノイジン生成量が、ガラクトースのメラノイジン生成量よりも少なくなったのかもしれない。

本研究で、糖の水溶液中での鎖状構造の存在率が高いほどメラノイジン生成量が多くなる傾向が見られた。ただし、水溶液中で糖の平衡移動が速やかに行われる場合、反応により減少した鎖状構造が補われ、もともとの存在率は生成量に影響しないのかもしれない。今後の課題として、反応速度なども併せて検討したい。

4 結論

還元性を示さない糖とアミノ化合物ではメイラード反応は起こらない。

溶液の塩基性が強いほど、メイラード反応は促進される。

還元糖の水溶液中での鎖状構造の存在率が高いほど、メラノイジン生成量は多くなり、メイラード反応は進行する傾向が見られた。

鎖状構造の存在率が高くても、ケトースではメイラード反応は進行しにくく、逆に、アルドースでは進行しやすいことが示唆された。

5 今後の課題

本研究で得られた結果から立てたいくつかの考察の正確性を高めるためにさらなる実験を行いたい。平衡移動と反応速度の観点から、糖の水溶液中での鎖状構造の存在率がメイラード反応の進行に与える影響について検討したい。

6 参考文献

- 三浦理代. メラノイジンの生理機能. *日本醸造協会誌*. 97 (4) 2002. 253-256.
- アミノ酸と糖の組み合わせによるメイラード反応への影響. *広島国泰寺高校科学研究実践活動のまとめ*. 2016.
- 大江 猛、吉村 由利香. 還元糖による羊毛の着色における糖構造の影響. *J. FiberSci. Technol.*, 76 (4), 2020. 127-133.
- 村田 容常. メイラード反応と着色・褐変糖とアミノ酸が反応すると茶色くなる化学. *化学と生物* 57 (4), 2019. 213-220.

マイタケプロテアーゼの動物性タンパク質と植物性タンパク質への作用の違い

班員 畝 くるみ、四方 帆奈美、原田 ありさ、渡邊 柚月
担当教諭 荒邦 陽子

キーワード：マイタケ、タンパク質、プロテアーゼ、分解酵素

Main purpose of maitake protease is decomposing fallen leaves and trees. So, we thought that maitake protease will decompose vegetable protein easier than animal protein. We researched the action on animal protein and vegetable protein that maitake have. As a result, maitake protease can decompose both of animal protein and vegetable protein. In addition, there are proteins which maitake protease cannot decompose easily even if it is best temperature for maitake protease to decompose.

1 はじめに

マイタケは食用として親しまれている担子菌門トンビマイタケ科のキノコである。先行研究からこれらは木や落ち葉を分解して養分を吸収する腐生性のキノコであり、木や落ち葉のタンパク質を分解するために必要なタンパク質分解酵素であるマイタケプロテアーゼを、他のキノコに比べ多量に持つことが知られている（図1）（西脇、2010より）。マイタケを入れた茶碗蒸しが固まらないことはよく知られているが、これもマイタケプロテアーゼの影響であり、マイタケプロテアーゼが鶏卵に含まれるタンパク質を分解することでタンパク質が熱凝固できなくなることが原因である（引用）。

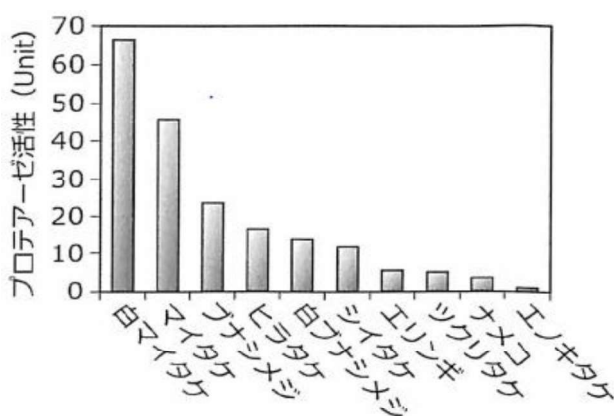


図1 食用担子菌子実体（市販キノコ）のプロテアーゼ活性（西脇、2010より）

木や落ち葉を分解することであるため、植物性タンパク質をよく分解し、動物性タンパク質を分解しにくいのではないかと考えた。そこで本研究では動物性タンパク質と植物性タンパク質に対するマイタケプロテアーゼの作用の違いに注目し実験を行った。

2 マイタケプロテアーゼの動物性タンパク質と植物性タンパク質に対する作用

マイタケは植物性タンパク質を動物性タンパク質よりも分解するという仮説の下、実験1を行った。動物性、植物性の、それぞれ数種類の基質を用意し、マイタケプロテアーゼを作用させ、どれだけ作用したかをニンヒドリン反応の色の変化から計測した。同時に、常温で作用させる常温条件と、最適温度で作用させる最適温度条件で活性の様子を比べることで、マイタケプロテアーゼの活性の違いを調べた。

材料

タンパク質(0.25gまたは0.25mL)を溶かした水溶液、マイタケ抽出液、ニンヒドリン液(1.0w/v%)

ゼラチン、ヤギ由来の抗B血清、鶏肉、無調整豆乳、小麦粉

私たちはマイタケプロテアーゼの本来の働きが

ここでマイタケ抽出液作成方法は、次の方法で作

成した。

マイタケと、マイタケの半分の重さの1%濃度の食塩水をミキサーに入れて、すりつぶした。すりつぶしたマイタケをガーゼでこし、抽出した液を24時間以上おいた。この液を、整水皿に入れ冷凍したものを必要に応じて解凍し、実験に用いた。

方法

(1) 反応させたタンパク質

ゼラチン、血清、鶏肉、豆乳、小麦

(2) (1)を溶かした水溶液 5mL にマイタケ抽出液を 0.25mL 加え、常温(25℃)と最適温度(60℃)で5分間反応させた。

(3) (2)にニンヒドリン液 3mL を加え 10 分間 90℃で湯煎して加熱し反応させた後、10 分以上常温(25℃)で放置して反応を完全に終わらせた。その後、吸光度を yamato の PiCOEXPLORER で測定した。3回測定し、それぞれの条件の吸光度の値の平均を求め、常温条件と最適温度条件の吸光度の平均値に差があるか、t 検定を用いて調べた。

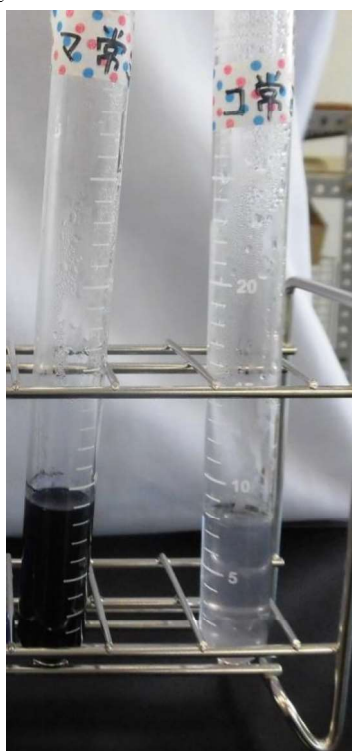


図2 ニンヒドリン反応後の試験管の様子
左：マイタケ入り水溶液
右：コントロール水溶液

結果

表1 動物性タンパク質の基質ごとのニンヒドリン反応の有無

	動物性タンパク質		
	ゼラチン	血清	鶏肉
常温	○	○	○
最適温度	○	○	○

表2 植物性タンパク質の基質ごとのニンヒドリン反応の有無

	植物性タンパク質	
	豆乳	小麦
常温	○	○
最適温度	○	○

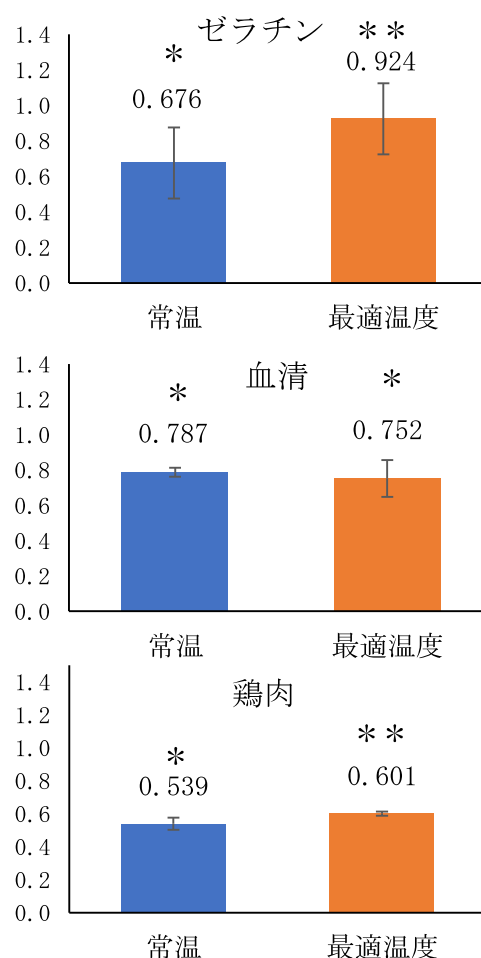


図3 - 1 動物性タンパク質での常温、加熱時の吸光度(上：ゼラチン、中：血清、下：鶏肉)

(異なるシンボル間では有意差あり $p < 0.05$, t-test)

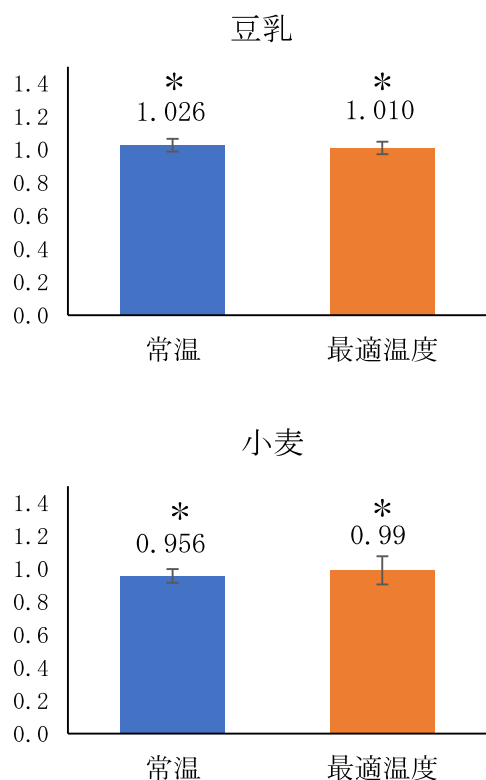


図3-2 植物性タンパク質での常温、加熱時の吸光度(豆乳、小麦)
(異なるシンボル間で有意差あり $p < 0.05$, t-test)

考察

マイタケプロテアーゼは動物性タンパク質と植物性タンパク質のどちらも分解できることが分かった(表1, 2)。また、血清、豆乳、小麦において、常温条件と最適温度条件の吸光度に有意差がなかった(図3)。これは、これらの実験でマイタケプロテアーゼによる分解を反応時の温度に関係がなかったことを示す。この理由として、①60℃でタンパク質が熱変性したことによる影響や、②最適温度であってもマイタケプロテアーゼの活性が高くない基質があることが考えられた。

3 熱変性後のタンパク質に対する活性

熱によるタンパク質の変性と、マイタケプロテアーゼの作用について調べるために、タンパク質を熱変性させた後に、マイタケプロテアーゼを加

え、反応を見た。実験では、ガスバーナーで十分加熱した鶏肉を用いた。それ以外の実験方法は実験1と同じである。

結果

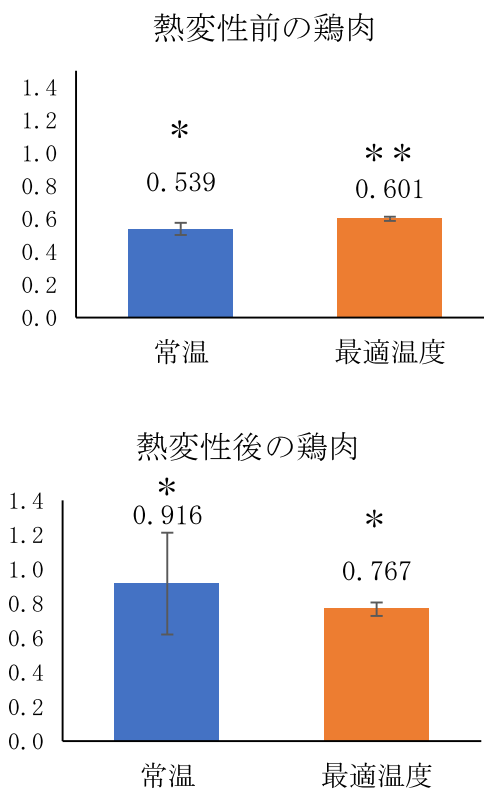


図4 熱変性前(実験1)と熱変性後(実験2)の鶏肉での吸光度

考察

吸光度の値はコントロールを基準とした相対値であるため、有意差の有無で反応の変化を判断する。熱変性前が常温条件と加熱条件で有意差があり最適温度でよく分解したのに対し、熱変性後はこれらの間で有意差がなくなった。このことから、マイタケプロテアーゼは熱変性した基質を十分に分解できないと考えられる。

4 熱変性前の血清に対するマイタケプロテアーゼの活性

実験2よりマイタケプロテアーゼは最適温度であっても熱変性したタンパク質に対しては活性が

高くならないことが分かった。また、調べたところ実験 1 で用いた無調整豆乳と小麦粉は製造過程で加熱をされており、熱変性したタンパク質を使ったと分かった。それらに対して、血清は製造過程で熱変性されていないが最適温度 60℃では変性すると分かった。この血清を用い反応温度によるマイタケプロテアーゼの活性の違いを調べた。

方法

(1) 反応させたタンパク質

ヤギ由来の抗 B 血清

(2) (1) を溶かした水溶液 5mL にマイタケ抽出液を 0.25mL 加え、常温(25℃)と、40℃(血清が熱変性しない温度)湯煎で加熱したものをそれぞれ 5 分間反応させた。

(3) (1) (2) 以外は実験 1 と同様

結果

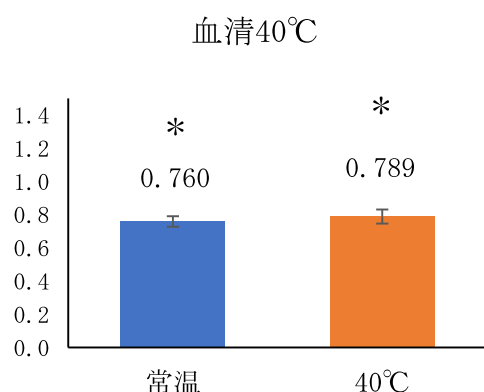


図5 血清を 40℃で反応させた後の吸光度

考察

熱変性しない40℃の条件でも、常温条件と40℃の吸光度の値に有意差がなかったことから、血清においては、反応温度とマイタケプロテアーゼの作用には関係がないと考えられる。

5 まとめ

実験 1 より、マイタケプロテアーゼは動物性タンパク質も植物性タンパク質も分解できる

とわかった(表 1, 2)。また、ゼラチン、鶏肉は常温条件と加熱条件の間に有意差があったが、その他の基質である血清、豆乳、小麦では有意差がなかったこと(図 3)、実験 2 より、マイタケプロテアーゼは熱変性したタンパク質に対しては、最適温度であっても常温(25℃)よりも活性が高くならないことから(図 4)、変性したタンパク質では最適温度であっても活性が高くならない可能性と、マイタケプロテアーゼの最適温度であっても活性が高くならない基質があることが考えられる。

豆乳、小麦は製造過程で加熱をされており、実験 1 の前に熱変性していた可能性が高い。血清は製造過程で加熱をされていない。実験 3 より、血清は熱変性しなくても常温条件と加熱条件の間に吸光度の差がないため(図 5)、マイタケプロテアーゼの最適温度であっても活性が高くならない基質であると考察できる。

6 参考文献

西脇俊和. マイタケ由来タンパク質分解酵素の食品加工への利用. 農業および園芸. vol.856, 2010. p 601-608.

内田和寿、杉本瑞樹、鈴木健太、高田晋大朗、堀田峻祐. マイタケ由来プロテアーゼの最適温度の検討. 厚木高校研究活動記録. 2017.

旗のはためく領域と旗の横の長さによる領域の変化

班員 太田 義信、大森 周、鹿島 健介、花島 涼太

担当教諭 小林 広典

キーワード：旗 はためき 整流器 扇風機 角度 定常波 相関関係 相似

We found out that rectangular flags move in specific spaces. These spaces looked like trapezoids and their longer side of the two parallel sides was on the pole of the flag. As the horizontal length of a flag was shorter, its bottom side became leveler but its top side did not change very much. Also, when the length was long, both sides hung down.

1 はじめに

先行研究では、旗を上から見たときのはためき方に関して多く研究されていたが、旗を横から見た時の研究はなかった。観察すると、横から見た長方形の旗は一定の領域内ではためくように見えた。そこで、はためきの起こる一定の領域の存在と旗の横の長さによる領域の変化について調べた。

2 実験1 はためく領域の存在を確認する

[目的]

旗を横から見たときに、旗がはためく領域が実際に存在するのかを調べる。

[実験方法]

旗は縦30cm横48cmのものを使用し、スタンドに固定してはためかせた。扇風機の風を使用し、風力はすべて「強」に設定した。

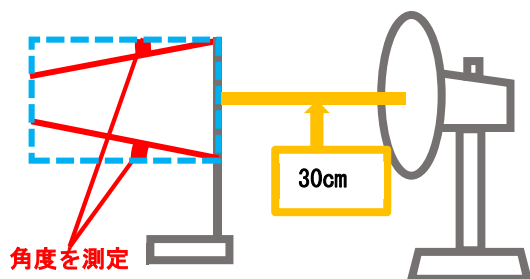


図1 実験1の様子

旗全体に風が当たるように高さを調整し、扇風機から30cm離して、旗をはためかせ、カメラを用いて旗の上部、下部の様子を写した10秒の

動画を30本ずつ撮影した。その後、水平を0°と定義し、旗の傾きを計測した。

[計測方法]

1秒を30分割し、0～300の間で乱数を生成し、コマ送り機能を使ってその値が示す瞬間の角度を測定した。1つの動画につき5回計測し、結果を平均して表（図2）にまとめた。

[結果]

	0°～5°	5°～10°	10°～15°	20°～
上部	0	2	16	12
下部	2	26	2	0

図2 水平からの旗の傾きの分布

上部は10°以下の値にならず、ほぼ10°以上になった。つまり、上部には旗が折れ曲がるため変化が激しいが、旗のはためく領域は存在する。

下部は5°～10°に値が集中していたため、下部にも領域は存在すると考えられる。

3 実験2 旗の横の長さと領域

[目的]

旗の横の長さとはためく領域の間に関係があるのかを調べる。

[実験方法]

扇風機の風は渦を巻いているため、この実験から整流器を用いた。

整流器は、ストローを縦27本、横20本の計540本使用して自作した。また、切り込み口では吹き出す風が整わないため、平らな面を旗に向けた。



写真1 実験に用いた整流器

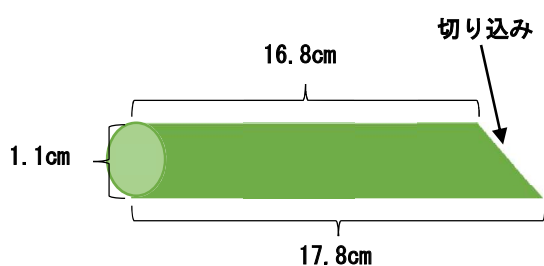


図3 ストロー1本のサイズ

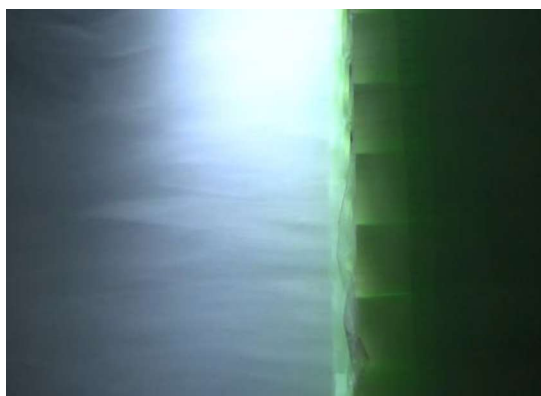


写真2 整流器を通る空気の流れ

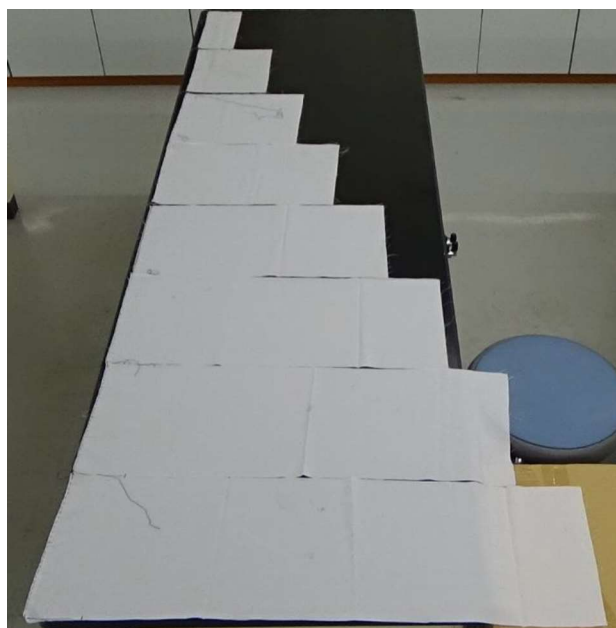


写真3 実験に用いた旗

左下の写真2からわかるように、風向きがまっすぐに補正されている。

実験に用いた旗は、縦はすべて30cm、横の長さを12, 24, 36, ...と12cmから96cmまで12cmずつ変化させた。実験設備は実験1と同様にした。

[計測方法]

計測する角度は上部、下部ともに上向きを正とした。また、動画は一つの旗につき上部・下部で1分程度のものを1本ずつ撮影した。物差しに動画のバーを合わせ、0~150の間で乱数を生成し、乱数の示した数値だけ動画のバーをmm単位で進め、その時の角度を計測した。

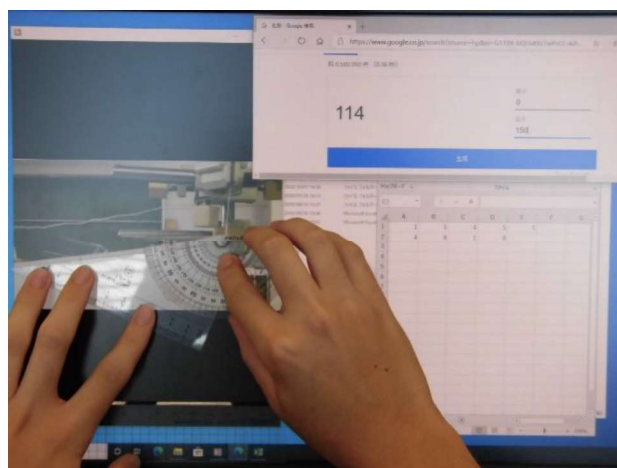


写真4 角度を計測する様子
(動画のバーは114mm進めてある。)

[結果]

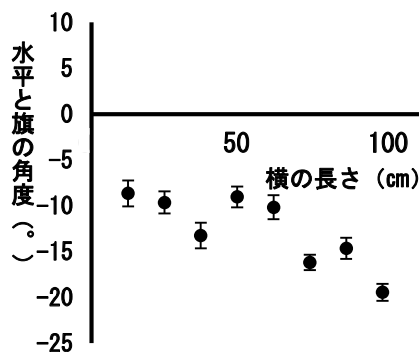


図4 水平からの上部の傾き

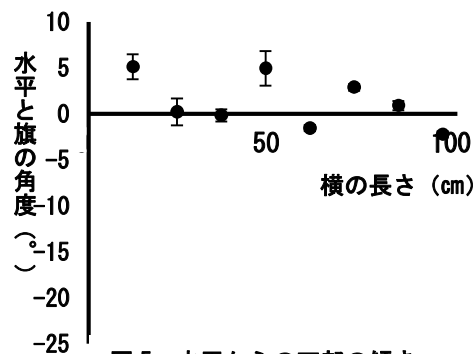


図5 水平からの下部の傾き

図4より、上部は60cmまでの角度はほぼ一定で、それより長くなると旗は下がった。

図5より下部は12cm, 48cm, 72cmのときに旗が周期的に上がっていることがわかる。

[考察]

上部で12~60cmまで値がほぼ一定なのは、実験3を踏まえて考察する。

下部では横の長さが短いと、大きい波ができないため水平に近づき、横の長さが十分に長いときは、周期的に旗の末端を自由端とする定常波が生じ、そのときに旗が上がったと考えられる。

上部と下部のどちらも横の長さが非常に大きくなると下がったのは、旗自身の重みによるものだと考えられる。

4 実験3 旗の質量と領域

[目的]

旗の質量の影響を調べた。

[方法]

旗の大きさは変えず、旗の材質を変えることで質量だけを変化させ、旗の領域の変化を調べた。その後実験2のデータとの関係を調べ、質量のみによる領域の変化を求めた。

旗は8.34g(実験1で用いた旗) 14.43g 27.20gの三つを用意し、実験2と同様の条件で計測した。

[結果]

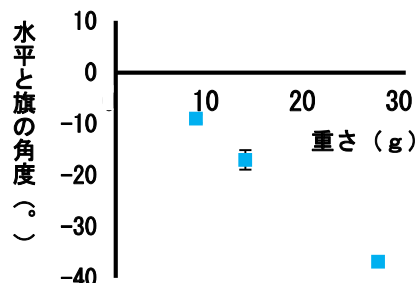


図6 水平からの上部の傾き

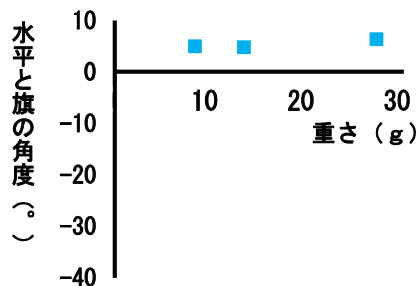


図7 水平からの下部の傾き

上部では重くなるほど折れて下がる角度が大きくなった。

下部では重さにかかわらず角度はほぼ一定だった。

[考察]

実験2の横の長さが十分に短いときと実験3の上部の角度は、どちらも上部が折れ曲がって下がる影響が大きかった。そのため、上部の角度について、重さと旗が折れ曲がって下がった距離の関係を、実験2と実験3のデータから求めた。

(旗が下がった距離)

= (旗の横の長さ) × sin(上部の角度)

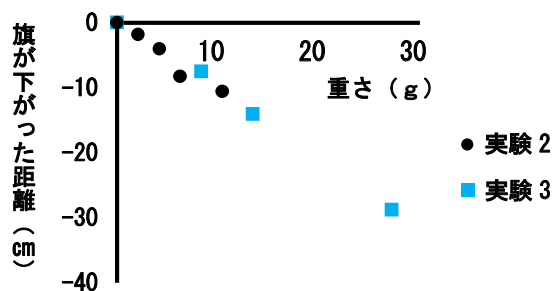


図 8 実験 2, 3 で旗が下がった距離

図8より、旗が下がった距離には相関関係がみられ、実験2, 3での相関係数は等しかったとわかる。

つまり、横の長さにかかわらず、旗が下がった距離は重さにのみ相関関係を示した。

実験3の結果より、実験2で横の長さが短いと上部の角度がほぼ一定だったことについて考察する。実験3から、旗が折れ曲がって下がる距離は、横の長さが十分に短いと旗の質量にのみ比例するということが分かった。つまり、旗の横の長さを変えると、横の長さに比例して旗の質量が変わるため、横の長さと折れ曲がって下がる距離が比例するということである。

したがって、右上の図9からわかるように、旗の上部に二辺の長さの比とその間の角がそれぞれ等しい相似な三角形が現れたため、上部の角度が一定であったと考えられる。

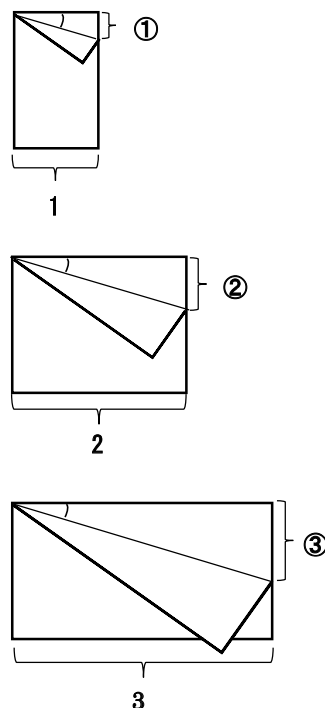


図 9 旗の横の長さと折れ曲がる様子

5 結論

実験1より、旗のはためく領域は存在する。また、実験2、実験3より、はためく旗の上部は横の長さが短いと一定の角度で下がり、下部は定常波が生じるときに上がる。



写真 5 はためく旗の様子

焼成チョークの抗菌作用について

班員 石井 優基、北野 尊、小林 稜河、佐野 宏太郎

担当教諭 八田井 智也

キーワード：チョーク、水酸化カルシウム、抗菌作用

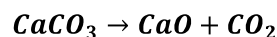
From the previous research, Calcium Hydroxide made from oyster shells has the effect of killing yeast. Then, we thought that we could use chalk instead of oyster shells because chalk is composed of calcium carbonate. We conducted the research on the effect of killing yeast, lactic acid bacteria, and natto by baked chalk powder. From this research, we found that baked chalk powder has the effect of killing lactic acid bacteria and yeast but it has no effect of killing natto.

1 はじめに

先行研究より、焼成した牡蠣殻は酵母に対する抗菌作用を持つことが分かっている。この作用は焼成した牡蠣殻から生成される水酸化カルシウムによるものである。また、先行研究の目的は大量破棄される牡蠣殻から除菌剤を作成することで牡蠣殻をリサイクルすることであった。そこで私たちは牡蠣殻と同じく炭酸カルシウムを原料とするチョークが学校現場で大量に破棄されていることに着目し、このチョークから除菌剤を作ることによってチョークをリサイクルし、学校で破棄されるごみの量を削減できるのではないかと考えた。そのためにチョークを原料とする水酸化カルシウムが種々の菌に対してどのような抗菌作用を示すのかを調べるため、焼成チョークを用いて、私たちの身近で入手性の高かった酵母、乳酸菌、納豆菌に対する焼成チョークの抗菌作用の有無を調べる実験を行った。

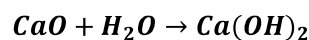
2 焼成チョークについて

チョークを乳棒と乳鉢を使ってパウダー状に粉碎し、電気マッフル炉を用い1000℃で1時間焼成した。チョークの主成分は炭酸カルシウムであり、焼成することで酸化カルシウムとなる。



本論文における焼成チョークはこの酸化カルシウムを指す。

焼成チョークは水と混合すると水酸化カルシウムとなる。



先行研究より水酸化カルシウムは抗菌作用を示すことが分かっている。

3 方法

焼成チョークが抗菌作用を持つかどうか調べるために以下の通り実験を行った。

I 滅菌処理した0.8%濃度の生理食塩水25mlに以下を加えた混合液A、B、Cを作った。

混合液A（コントロール）

混合液B（未焼成チョーク 1.0g）

混合液C（焼成チョーク 1.0g）

II 3種類の混合液に次の菌1.5gを加えたものをそれぞれ用意して1時間放置し、その後1分間の遠心分離を行った。

酵母「日清スーパーカメリヤドライイースト」
 乳酸菌「フジッコ 手作り カスピ海ヨーグルト種菌セット」
 納豆菌「セブンイレブン 納豆 北海道産大豆100%使用」

Ⅲ それぞれの菌を加えた混合液A、B、Cの上澄み液を、マイクロピペットを用いて0.3μLずつ採取し培地上に25回、5×5の正方形になるように滴下した。

※使用したLB培地の成分(水300mlあたり)

トリプトン	3.0 g
酵母エキス	0.5 g
塩化ナトリウム	1.0 g
寒天	4.5 g
グルコース	0.3 g

Ⅳ 24時間後に観察し、培地上のコロニーの数を調べた。

4 実験の結果と考察

[酵母の結果]

以下の図は実験の過程Ⅳにおいて、デジタルカメラで撮影した培地の写真である。

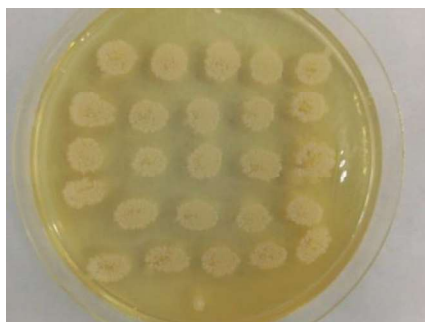


図1 混合液A(コントロール)と混ぜた酵母を植えた培地

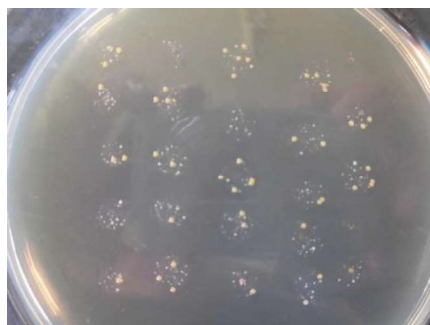


図2 混合液B(未焼成)と混ぜた酵母を植えた培地



図3 混合液C(焼成)と混ぜた酵母を植えた培地

実験の過程Ⅳにおいて、それぞれの培地で発生したコロニーの数を数えてグラフを作成したところ以下の通りであった。横軸は混合液の種類、縦軸は発生したコロニーの数を表している。また混合液A(コントロール)と混ぜた酵母を植えた培地をコントロールとした。

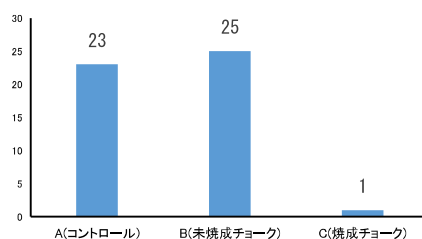


図4 観察された酵母のコロニーの数

図1、2、3より、混合液A(コントロール)で23個、混合液B(未焼成)で25個、混合液C(焼成)で1個のコロニーが観察された。

[酵母の考察]

上記の結果より、未焼成チョークと混ぜた酵母を植えた培地は、コントロールの培地と比較して、発生したコロニーの数が同数だったことから、酵母が増殖したことが分かる。

また、焼成チョークと混ぜた酵母を植えた培地は、コントロールの培地と比較して、発生したコロニーの数が減少していたことから、酵母が繁殖しなかったことが分かる。

よって、焼成チョークから生成された水酸化カルシウムは酵母に対する抗菌作用を持つと分かる。

[乳酸菌の結果]

以下の図は実験の過程Ⅳにおいて、デジタルカメラで撮影した培地の写真である。

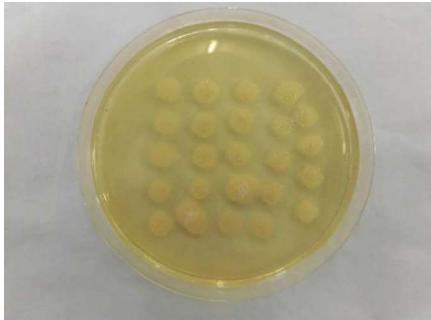


図5 混合液A(コントロール)と混ぜた乳酸菌を植えた培地

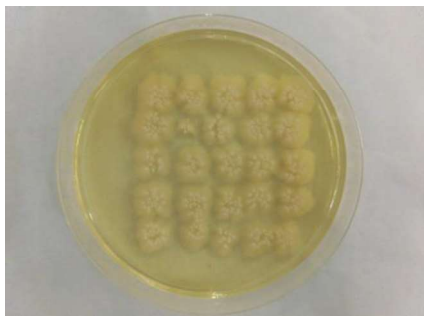


図6 混合液B(未焼成)と混ぜた乳酸菌を植えた培地



図7 混合液C(焼成)と混ぜた乳酸菌を植えた培地

実験の過程Ⅳにおいて、それぞれの培地で発生したコロニーの数を数えてグラフを作成したところ以下の通りであった。横軸は混合液の種類、縦軸は発生したコロニーの数を表している。また混合液Aと混ぜた乳酸菌を植えた培地をコントロールとした。

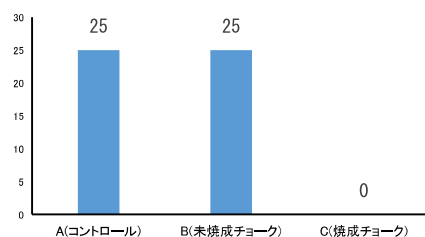


図8 観察された乳酸菌のコロニーの数

図5、6、7より、混合液A(コントロール)で25個、混合液B(未焼成)で25個、混合液C(焼成)は0個のコロニーが観察された。

[乳酸菌の考察]

上記の結果より、未焼成チョコレートと混ぜた乳酸菌を植えた培地は、コントロールの培地と比較して、発生したコロニーの数が同数だったことから乳酸菌が増殖したことが分かる。

また、焼成チョコレートと混ぜた乳酸菌を植えた培地は、コントロールの培地と比較して、発生したコロニーの数が減少していたことから、乳酸菌が繁殖しなかったことが分かる。

よって、焼成チョコレートから生成された水酸化カルシウムは乳酸菌に対する抗菌作用を持つと分かる。

[納豆菌の結果]

以下の図は実験の過程Ⅳにおいて、デジタルカメラで撮影した培地の写真である。

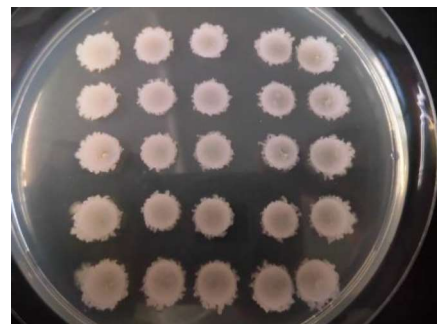


図9 混合液A(コントロール)と混ぜた納豆菌を植えた培地

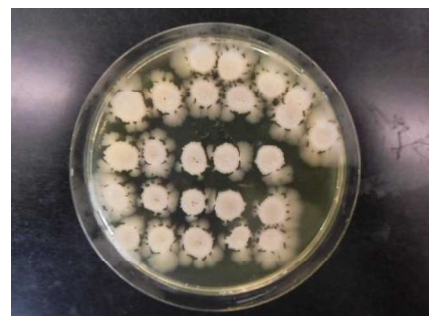


図10 混合液B(未焼成)と混ぜた納豆菌を植えた培地

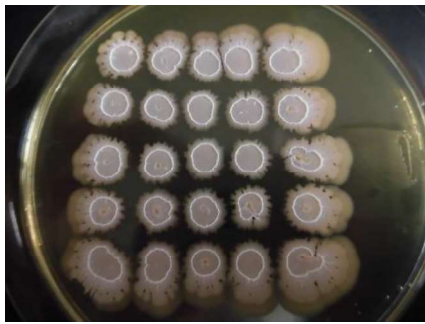


図 1 1 混合液C(焼成)と混ぜた納豆菌を植えた培地

実験の過程Ⅳにおいて、それぞれの培地で発生したコロニーの数を数えてグラフを作成したところ以下の通りであった。横軸は混合液の種類、縦軸は発生したコロニーの数を表している。また混合液Aと混ぜた納豆菌を植えた培地をコントロールとした。

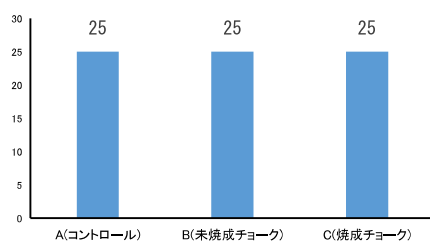


図 1 2 観察された納豆菌のコロニーの数

図9、10、11より、混合液A(コントロール)25個、混合液B(未焼成)で25個、混合液C(焼成)で25個のコロニーが観察された。

[納豆菌の考察]

上記の結果より、未焼成チョークと混ぜた納豆菌を植えた培地は、コントロールの培地と比較して、発生したコロニーの数が同数だったことから、納豆菌が増殖したことがわかる。

また、焼成チョークと混ぜた納豆菌を植えた培地は、コントロールの培地と比較して、発生したコロニーの数が同数だったことから、納豆菌が増殖したことが分かる。

よって未焼成チョーク及び焼成チョークは納豆菌に対する抗菌作用を持たないことがわかる。

5 まとめ

本研究の結果を以下の表1にまとめた。抗菌作用が確認された組み合わせには「○」記号、抗菌作用が確認できなかった組み合わせには「×」記号を記した。

表 1 焼成チョーク及び未焼成チョークが及ぼす抗菌作用

	酵母	乳酸菌	納豆菌
未焼成 チョーク	×	×	×
焼成 チョーク	○	○	×

焼成チョークから生成される水酸化カルシウムは、牡蠣殻から生成される水酸化カルシウムと同様に抗菌作用を持った。その効果は酵母、乳酸菌には有効で、納豆菌には有効でないと考えられる。

6 今後の課題

今回の研究で焼成チョークは水酸化カルシウム源として利用できることが分かった。今後は、チョークや牡蠣殻といった炭酸カルシウムを含有する廃棄物を利用した除菌剤の開発に取り組みたい。

また焼成チョークが納豆菌に対して抗菌作用を示さなかった理由を調査したい。

7 参考文献

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. *Jpn. J. Food Microbiol.*, 2003.p.20

久保田一誠.酒井悠乃.多賀悠樹.水上千鶴.マガキ(*Crassostrea gigas*)の殻を原料とする焼成パウダーの殺菌作用について.石川県立七尾高等学校,2019

斜面を下り落ちる流水中の球の運動

班員 酒本 瞬太、杉谷 明音、名山 幸那、林 佑羽也

担当教諭 北原 点

キーワード：球の運動、水、粘度、流量

Balls drifting down a slope in flowing water stopped around the center of the slope. The balls are more likely to stop and tend to roll slower as the water temperature decreases. That is because the increase of viscosity prevents the rotation of a ball. This viscosity is in proportion to the water temperature. Also, the speed of the ball increased when the water volume increased. That is because the water volume has an effect on a ball. It lessens the friction between the slope and the ball.

1 はじめに

斜面を流れ落ちる流水中に球を置くと、斜面中央あたりで球は静止した。私たちはこの特異な現象を、河川の堤防が決壊する条件を研究している過程で発見した。

堤防を流水が超えることで決壊する過程があり、法面を下り落ちる流水の速さを測定することにした。土で堤防の模型を作成し、流水中に球 (BB 弾) を流してその速さを流水の速さにすることにした。しかし、堤防上に置かれた球は凹凸にはまり込むなどしてしまうので、板で堤防の法面を模した斜面を作って水を流し、そこに球を置いて下り落ちる速さを測定しようとした。ところが、斜面を流れ落ちる流水中に球を置くと、斜面中央あたりで球は静止してしまった。

水流の向きは斜面に対して下向き、球の回転方向も下向きであるのに、球の回転運動と並進運動が停止したことに疑問を感じた。この現象についての先行研究を調べたが、見つけることができなかったため、本研究を行うことにした。

また、今回の実験で使用した BB 弾以外にも、発泡スチロールの球 (質量 $3.3 \times 10^{-3} \text{g}$ 直径 0.60cm) を流水中に置いた場合も球は静止した。

2 材料と方法

○実験材料

球 (BB 弾・質量 0.14g 直径 0.60 cm)

台 (縦 100 cm、幅 30 cm、角度 8°)

なお台の角度は、この現象を発見した以前の実験と同じ 8° にした。

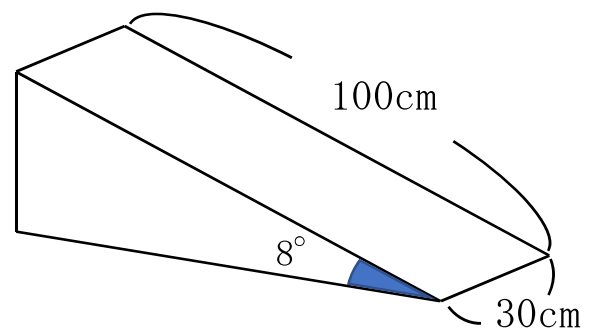


図 1 実験装置の縮図

○実験方法

傾斜 (8°) をつけた台を板で作り、蛇口から水を流した。水の落下地点 (図 2-a) から 5 cm 下流に球を置き (図 2-b)、球が下り落ちる様子を上方から動画で撮影した。動画でも読み取りやすく、球の運動が安定するため、球を置いた 5cm 下から 20cm ごとに通過時間を測定し、球の速さを計算した。後述の条件で 3 回実験し、その平均を求めた。

また、5 mm 四方の紙を流した際、水の流れが一番安定していた上流の 20 cm (図 2-c) の区間のデータを用いた。流量については、1 秒あたりに流れ落ちる水の量 (mL) を計った。

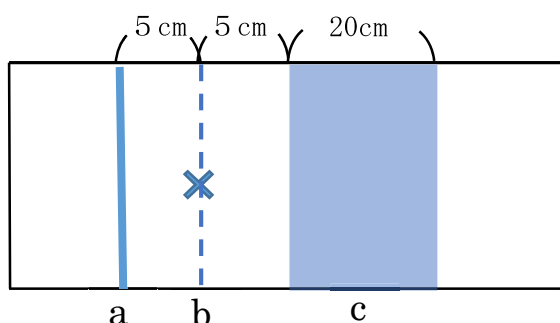


図2 実験装置を上から見た図

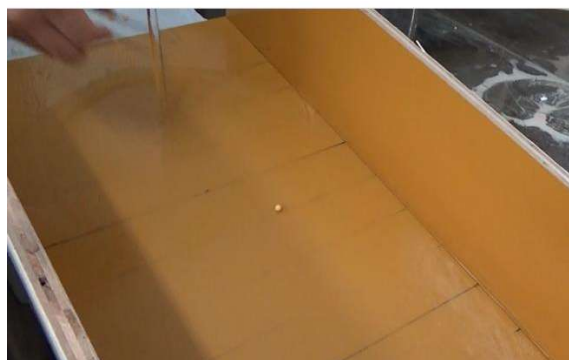


図3 斜面で球が静止した様子

○条件

水温 (°C) 20, 40, 70

流量 (mL/s) 60, 100, 150, 200

3 結果

実験全体を通して、球が下り落ちず静止しているときは、球の回転も止まっていた。球は流量60mL/sでは静止と並進・回転を繰り返したが、流量200mL/sでは水に浮いて下り落ちた。

【結果Ⅰ 球の下り落ち方と水温の関係】

水の流量を一定にし、水温と球の下り落ち方の関係について調べた。

表1 球の速さ (cm/s)

流量

	60mL/s	100mL/s	150mL/s	200mL/s
20°C	0.68	1.69	7.57	7.01
40°C	1.69	4.15	19.64	16.24
70°C	11.87	37.04	30.00	40.74

水温

(単位 cm/s)

(1) 流量60mL/s

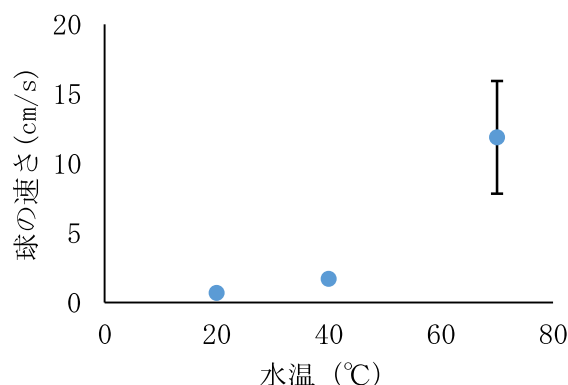


図4 流量 60mL/s における水温と球の速さの関係

図4・図5のグラフの縦軸は球の速さ (cm/s)、横軸は水温 (°C) を表している。

球の速さは水温20°Cでは0.68cm/s、水温40°Cでは1.69cm/s、水温70°Cでは11.87cm/sとなった。

(2) 流量100mL/s

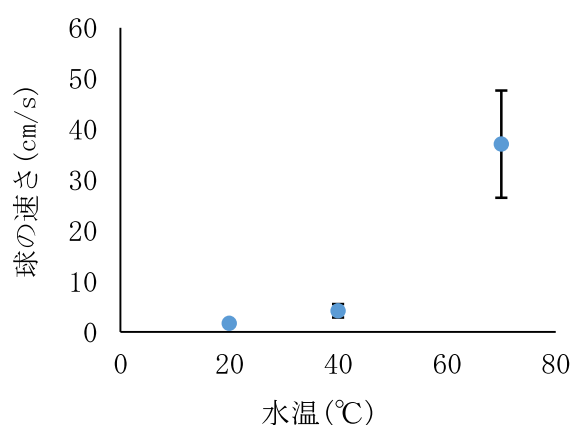


図5 流量100mL/sにおける水温と球の速さの関係

球の速さは水温20°Cでは1.69cm/s、水温40°Cでは4.15cm/s、水温70°Cでは37.04cm/sとなった。

図4・5から分かるように、どの流量でも水の温度が低いほど、球の下り落ちる速さが遅くなり、静止している時間が長くなった。

【結果Ⅱ 球の下り落ち方と流量の関係】

水温を一定にし、水の流量と球の下り落ち方の関係について調べた。図6・図7の縦軸は球の

速さ (cm/s)、横軸は水の流量 (mL/s) を表している。

(1) 水温 20℃

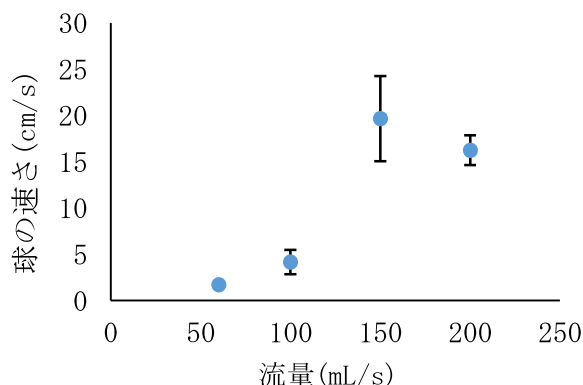


図 6 水温 20℃における流量と球の速さの関係

球の速さは流量 60mL/s では 0.68m/s、流量 100mL/s では 1.69cm/s、流量 150mL/s では 7.57cm/s、流量 200mL/s では 7.01cm/s となった。

(2) 水温 40℃

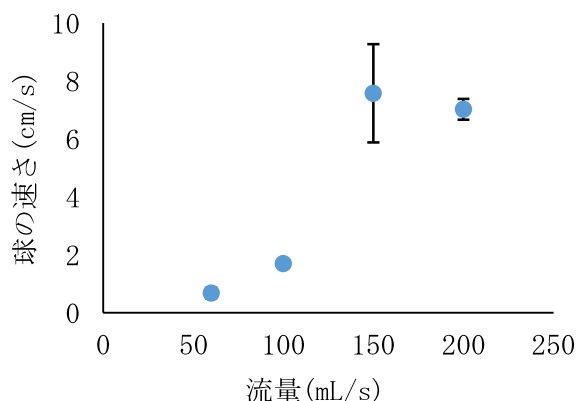


図 7 水温 40℃における流量と球の速さの関係

球の速さは流量 60mL/s では 1.69cm/s、流量 100mL/s では 4.15cm/s、流量 150mL/s では 19.64cm/s、流量 200mL/s では 16.24cm/s となった。

図 6・7 から分かるように、流量が少ないほど、球の下り落ちる速さが遅くなり、静止している時間が長くなった。

また、60mL/s～150mL/s には球の速さに増加傾向が見られたが、150mL/s～200mL/s には減少傾向が見られた。

4 考察

【考察 I 球の下り落ち方と水温の関係】

球は水流から以下の力を受けていると考えられる。

1. 圧力

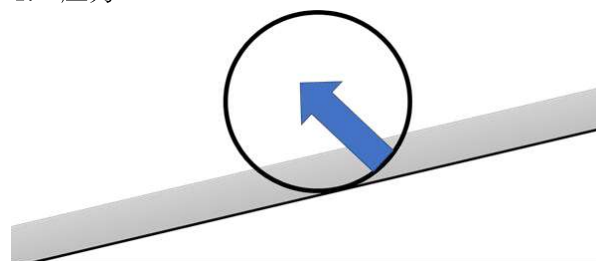


図 8 流水中で球が受ける力 (圧力)

水の流れによって、図 8 のように球の中心方向への力が常にはたらく。従って、球は水流により斜面に沿って下向きの力を受け続ける。

2. 摩擦力

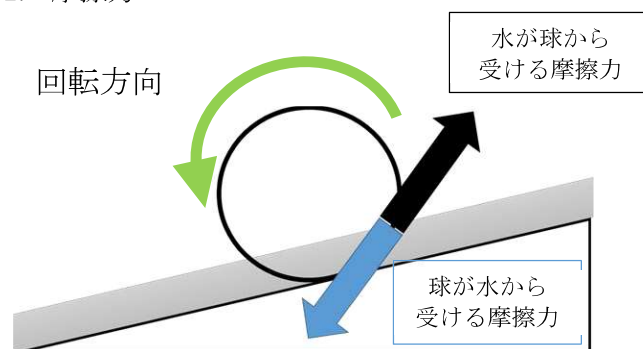


図 9 流水中で球が受ける力 (摩擦力)

水の粘度により、球と水のあいだには球面の接線方向に摩擦力がはたらく。図 9 で示した青い矢印は、この球が水から受ける摩擦力を示している。黒い矢印は水が球から受ける摩擦力である。

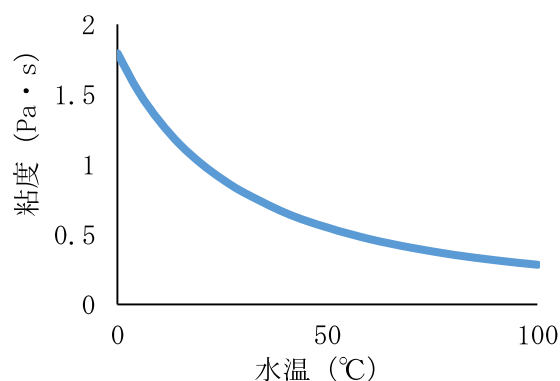


図 10 水温と粘度の関係

図 10 のように、水の粘度は、70℃では 0.40 Pa・s、40℃では 0.65Pa・s、20℃では 1.0Pa・s と変化する。このように水温が低くなると、水の粘度は高くなる。

この球が受ける力は、球の接線方向で球の回転と逆向きにはたらき、水の粘度に比例することから、粘度が大きくなると球の回転が止まりやすくなる。つまり、水温が低い時は、球は静止しやすいと考えられる。

【考察Ⅱ 球の下り落ち方と流量の関係】

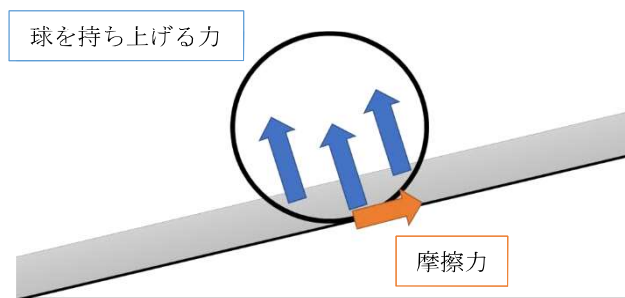


図 11 流量の増加により球が受ける力

流量が多くなると、水流による圧力が大きくなる。また、水深が深くなるために浮力（図 11 で示した青い矢印）が大きくなると考えられる。これにより球が斜面から受ける垂直抗力が小さくなり、球と斜面にはたらく摩擦力（図 11 で示したオレンジ色の矢印）が小さくなる。このために球が下り落ちると考えられる。

150mL/s～200mL/s で見られた減少については、150mL/s において球の下り落ち方にばらつきが大きくなるために、標準誤差（流量 150mL/s において 1.70cm/s）が大きくなるので、ここから 150 mL/s～200mL/s において、球の速さが減少するとは言えない。今後、実験のデータを増やし、水の流量をさらに多くした際に球の運動はどうなるのか調べたいと思う。

5 結論

斜面を流れ落ちる流水中の球の回転が静止することには、水の粘度が関係している。
球の並進が静止することには水の流量が関係している。

6 今後の展望

傾斜をつけた台についている水滴に、球を置く
と静止することと、表面張力の関係について調べ
たい。また、傾斜の角度や流す液体を変えて実験
し、球の運動の変化を調べたいと思う。

BB 弾や発泡スチロール以外に、どのような球が
静止するのか、またその大きさや質量にどのよう
な関係があるのか見つけたい。

7 参考文献

国立天文台．理科年表．水の粘度と動粘度．丸
善．2008．p.377

クモの糸と巣の強度

班員 小田 光希、政氏 貴仁、松柳 遥香、渡邊 大将
担当教諭 谷野 智了

キーワード：縦糸、横糸

We researched the strength and durability of *Argiope minuta*'s silk webbing. The radial silk which keeps the shape of the web. The radial silk has a property of enduring stronger forces and hardly stretching. So, spider silks reduce the stresses which affects radial silk. The spiral silk endures weaker forces and stretches more than the radial silk. In short, the properties of the radial silk and the spiral silk makes the spider's webs hard to break.

1 はじめに

クモの巣には、様々な形がある。中でも、日本のクモの約半数が作る「円網」と呼ばれる円形の巣は、主に、放射状に張られた縦糸と、らせん状の横糸からできている（図1）。一般的に、縦糸は横糸よりも太い。先行研究から、これらの糸は、異なる種類のタンパク質で構成されていることが分かっている⁽³⁾。横糸には、粘球と呼ばれる粘液の球がほぼ等間隔で付着した構造をしている（図2）。また、横糸のほうが縦糸よりもよく伸びる。このように、糸の性質は縦糸と横糸で異なるということが報告されているが、異なる性質を持つ2種類の糸がどのように巣全体の強さとかかわっているかを研究した例は少ない。本研究では、これらの糸の性質を調べ、糸の伸びやすさや糸の強度に着目して、縦糸と横糸の性質が巣全体の強さにどのように影響するかについて考察した。

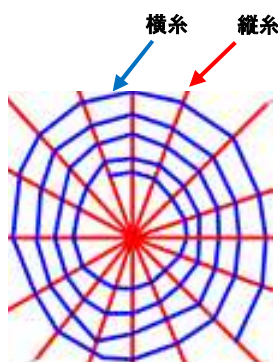


図1 クモの円網



図2 横糸の粘球

2 材料と方法

これまでに研究例が少ないコガタコガネグモを用いた（図3）。コガタコガネグモの巣は円形で、糸の間隔が広いため、糸の採取が行いやすい。



図3 コガタコガネグモ

＜実験1＞ 縦糸と横糸はどれだけ伸びるか

1. セロハンテープを粘着面が上になるように丸め（図4）、図5で示したノギスの☆部分に貼り付けた。縦糸には粘着性がないので、セロハンテープを用い、採取した。
2. 1のように準備したノギスを用い、巣から縦糸または横糸を採取した。この際、できるだけ糸が伸びないように注意して採取した。
3. 糸を採取した後、糸の上にさらにセロハンテープを貼り、採取した糸をノギスに固定した。これにより、糸がはがれることを防ぎ、切れた時の長さをより正確に測れるようにした。
4. 糸を水につけ、十分に水を含んだ状態にした。クモの糸は水を含むことによって縮むことが知られているため、⁽²⁾糸で湿度を等しくし、伸び方の差が無いようにした。
5. ノギスを少しずつ開くことにより糸を伸ばし、

糸が切れたときの長さを測定し、記録した。
糸が切れた時の長さと伸ばす前の糸の長さ
(図5) から次の式で伸び率を求めた。

$$(\text{伸び率}) = \frac{(\text{糸が切れたときの長さ})}{(\text{伸ばす前の長さ})}$$

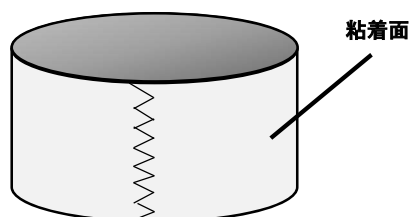
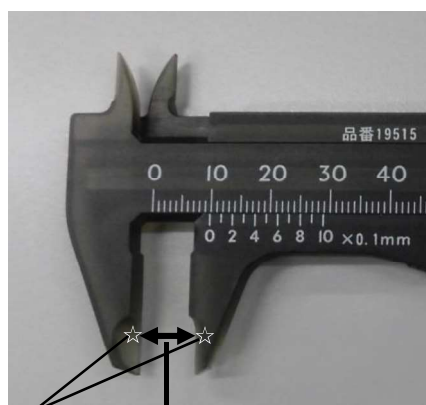


図4 丸めたセロハンテープ



糸の両端 伸ばす前の糸の長さ

図5 ノギスへの糸の固定方法



図6 本研究に用いたノギスの全体図

<実験2> 縦糸と横糸の糸の強さ

1. 実験1の手順1から4までと同様の作業をしてノギスに糸を固定した。
2. 高精度力センサ（島津理化）のフック（図5）にノギスに固定した糸を引っ掛けた。（図7, 8）
3. ノギスを鉛直方向下に向かって静かに動かして糸を伸ばし、糸が切れるまでにかかる力を計測した。手動でこの操作を行った。



図7 高精度力センサ（島津理化）を用いた力の測定

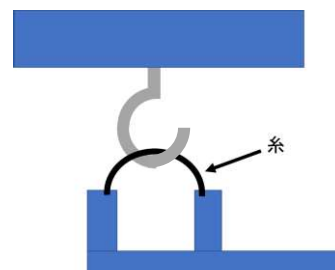


図8 フックへの糸のかけ方

3 結果

○結果1

測定は縦糸で計31回、横糸で計124回行った。縦糸は横糸に比べて1つの巣での本数が少ないため、実験回数に差ができた。伸び率が1倍以上3倍未満のものは、縦糸は21回と縦糸全体の68%を占めたのに対して、横糸は53回で横糸全体の43%であった。伸び率が3倍以上のものが、縦糸は10回で縦糸全体の32%を占めたのに対し、横糸は71回で横糸全体の57%であった（図9）。

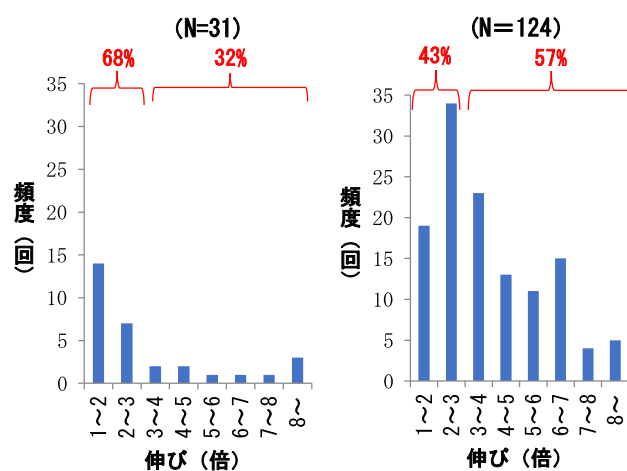


図9 縦糸（左）と横糸（右）の伸び率

○結果2

縦糸は7回実験した内、4回測定することがで

きた。縦糸が切れたときにかかった力は、値の大きい順に、 $9.3 \times 10^{-2} \text{N}$ 、 $7.5 \times 10^{-2} \text{N}$ 、 $2.8 \times 10^{-2} \text{N}$ 、 $1.6 \times 10^{-2} \text{N}$ であった。これらのうち、最大値（図10）と最小値（図11）には大きな差があり、糸によってかかった力は大きく異なっていた。横糸は7回実験したがすべて測定できなかった。このことは横糸は非常に小さな力で伸び続け、切れたときの力も小さく、力センサで検出することができなかったことを示している（図12）。



図10 縦糸が切れるまでにかかった力（最大値）

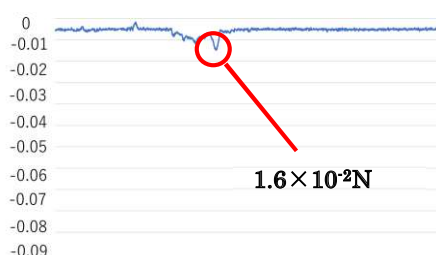


図11 縦糸が切れるまでにかかった力（最小値）

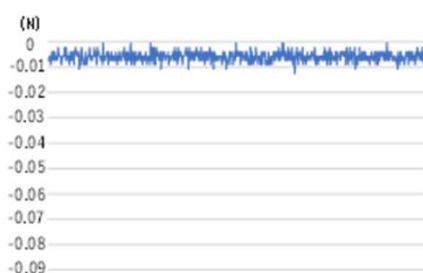


図12 横糸が切れるまでにかかった力

4 考察

実験1で、伸び率が3倍以上のものが、横糸は横糸全体の57%、縦糸の32%であり、横糸は縦糸に比べてよく伸びる傾向があることがわかった。このことから、巣に対して外部から力が加わったときには、横糸が伸びることにより、外部からの力を縦糸に伝わりにくくしていると考えられる。また、縦糸はあまり伸びないことで、全体の形を保つはたらきがあると考えら

れる。自然界において、獲物や風などから、巣全体が力を受けたとき、横糸は伸びることで力を吸収し、縦糸はあまり伸びないことで巣の構造を維持するといったように機能を分担していると考えられる（図13）。

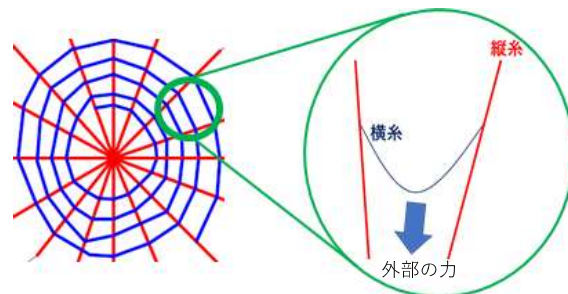


図13 横糸が縦糸にかかる負荷を軽減している様子

実験2からは、横糸は切れるまでにかかっていた力が測定できないほど小さかったのに対し、縦糸は最大 $9.3 \times 10^{-2} \text{N}$ まで切れなかったことから、縦糸は横糸に比べて大きい力に耐えることができることがわかった。クモは巣を張る際に縦糸を先に張り、縦糸間に横糸をらせん状に張る（図14）。本研究では高精度力センサのフックに糸をかけて力を測定した（図15）。この実験系におけるフックを自然界の縦糸とすると（図16）、横糸の結果のようにフックに力が加わらないことは、外部から力が加わったときに横糸が、縦糸に負荷をかけないように小さい力で伸び、切れるようになっていると考えられる。

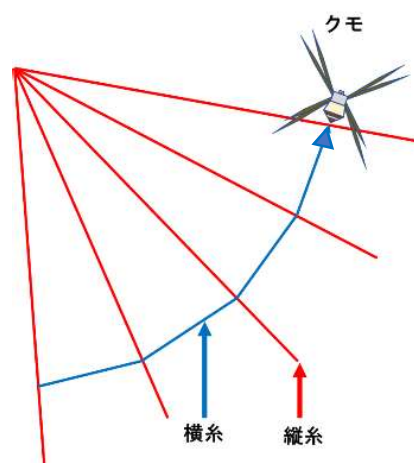


図14 クモの糸の張り方

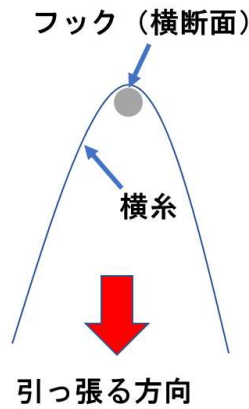


図 15 実験 2 の図

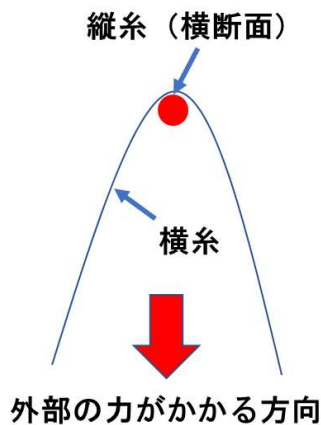


図 16 クモの巣を面に水平な方向から見た図

今回の実験で縦糸は伸び率が小さく、横糸よりも大きい力に耐えるという性質があるとわかった。このことから、縦糸には、巣全体の構造を保つ骨格としての働きがあると推測される。横糸は伸び率が縦糸に比べて大きく、切れるまでと切れたときにかかった力は計測できないほど小さかった。このことから、横糸はよく伸びることで縦糸にかかる力学的負荷を軽減するようにはたっていると考えられる。以上より本研究で明らかになった縦糸と横糸の性質から、クモの巣は全体として、外部からの力に対し、壊れにくくなっていると考えられる。

5 展望

今回、実験 2 では、横糸を 1 本ずつ用いて実験を行ったが、センサにかかった力が非常に小さく、横糸が切れるまでにかかった力の測定できなかった。横糸を複数本束ねることで横糸の強度を

測定できるかもしれない。この方法により、横糸 1 本当りの強度を推定したい。また、巣内の縦糸 1 本ごとに横糸が何本あるかを数え、縦糸 1 本あたりにかかる負荷を推定したい。

データを整理していたところ、巣の中での糸の位置によって糸の伸び率に差があるように思われた。クモは、巣の中での位置ごとに、性質の異なる糸を使い分けているのかもしれない。縦糸間の長さによって横糸の伸び方が変化したり、巣にないで獲物がかかりやすい位置とかかりにくい位置で伸び方が異なるかもしれない。今後詳しく今あるデータの解析や追加の実験をして確かめていきたい。

また、人工の糸などでクモの巣を作り、モデルを用いて縦糸と横糸の強さとの関係をシミュレーションするモデル実験を行うことも考えている。モデルを使用することで、縦糸と横糸それぞれの性質が巣全体の強さに及ぼす影響だけでなく、糸の間隔や本数、巣全体の縦糸と横糸の長さの比率など、より巣の形や構造に着目して実験することができると考えている。

また、糸の性質や構造をより詳しく調べるために、電子顕微鏡で観察することも考えている。

6 参考文献

- (1) 中田 兼介. クモのイト. 東京: ミシマ社, 2019.
- (2) 大崎 茂芳. クモの糸の秘密. 繊維と工業. 62(2), 42-47, 2006.
- (3) 大崎 茂芳. クモの糸でバイオリン. 岩波書店. 2016.

乳酸菌を酸から守る方法について

班員 浅野 歩、立川 悠花、戸濤 有珠佳、山崎 悠聖

担当教諭 小路 智司

キーワード：乳酸菌、コーティング、人工胃液

We researched the effective way to protect lactic acid bacteria from gastric juice. We coated lactic acid bacteria with chocolate, cake syrup, or honey. We soaked each of them to artificial gastric juice. Then, more lactic acid bacteria survived. Also, chocolate was the most effective of the three. We considered it was related to the fact that chocolate hardens easily and contains oil.

1 はじめに

乳酸菌は酸に弱いといわれているが、腸まで届くというフレーズの宣伝がある。しかし、腸まで届くまでに乳酸菌は強酸の胃液のある胃の中を通る。そこで、どうすれば乳酸菌を生きのまま腸に届けることができるのか調べるために実験を行った。

先行研究では、チョコレートで乳酸菌をコーティングすると、人工胃液に入れたときに生存率が高くなったと報告されている。

2 材料

食塩水：水1000ミリリットルに対して塩化ナトリウムを2.0グラム入れ、十分に混ぜ合わせた。

人工胃液：水1000ミリリットルに対して塩化ナトリウム2.0グラムを入れ、塩酸でpHを1.8に調整した。

液体培地：水300ミリリットルに対して、トリプトン3.0グラム、酵母エキス1.5グラム、塩化ナトリウム3.0グラムを混ぜ、オートクレーブを使い120度で20分滅菌した。

乳酸菌：市販のフジッコ カスピ海ヨーグルト 種菌セットを使用。

チョコレート：市販の森永製菓 ダース〈ミルク〉を使用。

ハチミツ：市販のものを使用。

ケーキシロップ：市販の朝日 ケーキシロップを使用。

3 方法

【実験Ⅰ】

目的：乳酸菌が酸に弱いことを確かめること。

方法：人工胃液に乳酸菌を入れた場合と、人工胃液に入れずに液体培地で培養した場合の濁度を比較した。対照実験では、人工胃液の代わりに食塩水を用いても実験を行った。乳酸菌1.0グラムを人工胃液50ミリリットルに入れて1時間後と2時間後の2回マイクロピペットで3.0マイクロリットル取り出し液体培地10ミリリットルに入れた。対照実験として、乳酸菌を1.0グラム食塩水50ミリリットルに入れて、同様に1時間後と2時間後の2回マイクロピペットで3.0マイクロリットル取り出し液体培地10ミリリットルに入れた。液体培地に入れて1日培養し、翌日濁度測定を行った。平均をとるため、人工胃液は試験管2本ずつ作り、濁度は1本につき3回ずつ測定した。ブランクには乳酸菌を入れず、雑菌の増殖を防ぐため冷凍庫に保存した。人工胃液に入れた場合と入れなかった場合の濁度を比

較して、人工胃液による乳酸菌への影響を調べた。

【実験Ⅱ】

目的：先行研究にあるようにチョコレートでのコーティングが人工胃液に入れたときの乳酸菌の生存率を高めることを確かめること。

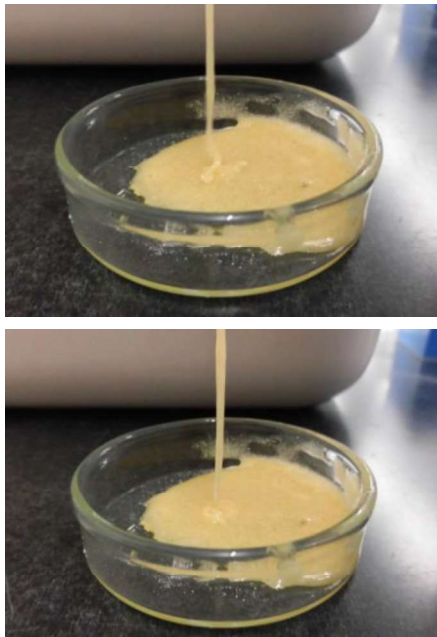
方法：乳酸菌をチョコレートでコーティングして人工胃液に入れた場合と、入れなかった場合、コーティングせずに人工胃液に入れた場合の濁度を測定し、比較した。対照実験では、人工胃液の代わりに食塩水を用いても実験を行った。乳酸菌0.5グラムをチョコレートでコーティングし、人工胃液50ミリリットルに入れて1時間後と2時間後の2回マイクロピペットで3.0マイクロリットル取り出し液体培地10ミリリットルに入れた。対照実験として、同様にチョコレートでコーティングした乳酸菌0.5グラムを食塩水50ミリリットルに入れて、同様に1時間後と2時間後の2回マイクロピペットで3.0マイクロリットル取り出し液体培地10ミリリットルに入れた。コーティング無しの場合と濁度を比較するときチョコレート自体による濁度への影響を無くすため、ブランクにはチョコレートを入れて、実験1と同じく雑菌の増殖を防ぐため冷凍庫に保存した。平均をとるため、今回は人工胃液と食塩水の両方を試験管2本ずつ作り、濁度は実験1同様に1本につき3回ずつ測定した。コーティングの定義は、湯煎で融かしたチョコレートをシャーレに広げた乳酸菌にかけて、混ぜ合わせることにした。



【実験Ⅲ】

目的：チョコレート以外の食べ物でコーティングすることで乳酸菌を酸から守ることができないか調べること。

方法：乳酸菌をハチミツとケーキシロップでコーティングし、その他の条件は実験2と同様にして実験を行った。対照実験では、人工胃液の代わりに食塩水を用いても実験を行った。乳酸菌0.5グラムをハチミツ、ケーキシロップでコーティングし、人工胃液50ミリリットルに入れて1時間後と2時間後の2回マイクロピペットで3.0マイクロリットル取り出し液体培地10ミリリットルに入れた。対照実験として、同様にコーティングした乳酸菌0.5グラムを食塩水に入れて、同様に1時間後と2時間後の2回マイクロピペットで3.0マイクロリットル取り出し液体培地10ミリリットルに入れた。実験2と同じくそれぞれのブランクにはハチミツ、ケーキシロップを入れて雑菌の増殖を防ぐため冷凍庫に保存した。平均をとるため、今回も人工胃液と食塩水の両方を試験管2本ずつ作り、濁度は実験1、2同様に1本につき3回ずつ測定した。コーティングの定義はシャーレに乳酸菌を広げて、ハチミツ、ケーキシロップをそれぞれかけて、混ぜ合わせることにした。

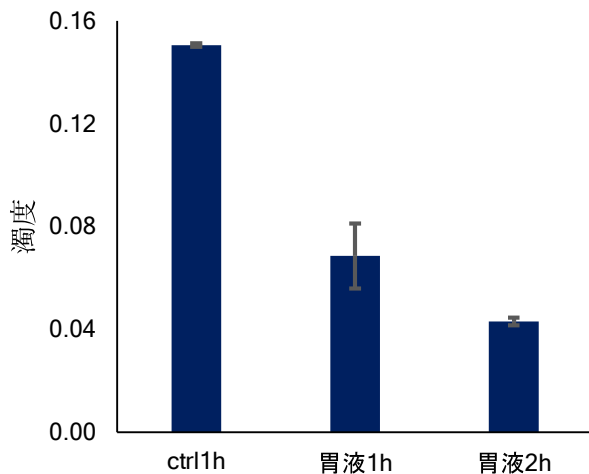


ハチミツ(上)、ケーキシロップ(下)

4 結果と考察

【実験Ⅰ】

濁度		
ctrl	胃液1h	胃液2h
0.15	0.069	0.043



実験Ⅰ

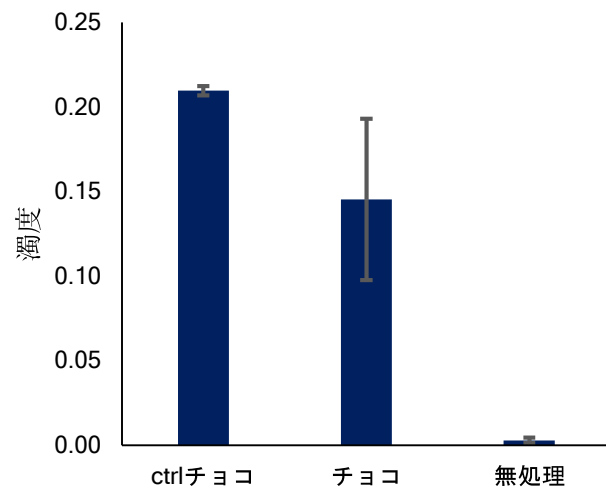
(グラフでは食塩水に入れた場合をコントロール、人工胃液に1時間入れた場合を胃液1h、2時間入れた場合を胃液2hと表記、グラフの縦軸は濁度の数値、濁度はコントロールが3回、胃液がそれぞれ6回計測した平均値)

食塩水に入れた場合の濁度が最も大きくな

り、人工胃液に入れた場合の濁度が小さくなったことから、乳酸菌は酸に弱いことが確かめられた。

【実験Ⅱ】

濁度		
ctrlチョコ	チョコ	無処理
0.21	0.15	0.0028



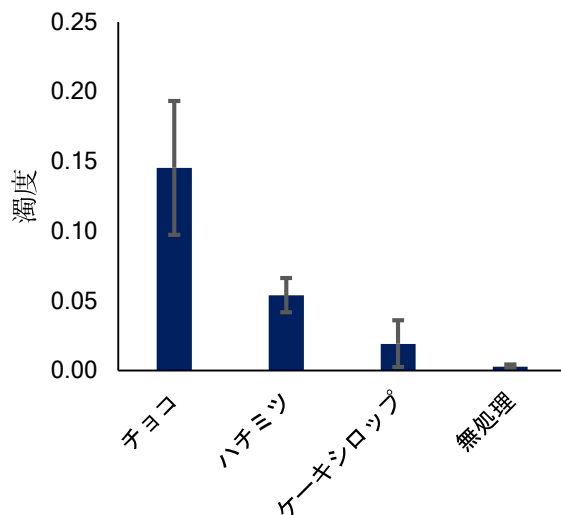
実験Ⅱ

(グラフではコーティングして食塩水に入れた場合をコントロールチョコ、コーティングして人工胃液に入れた場合をチョコ、コーティング無しで人工胃液に入れた場合を無処理と表記、グラフの縦軸は濁度の数値、濁度は全て6回計測した平均値)

チョコレートでコーティングして人工胃液に入れた場合の濁度が、コーティング無しで人工胃液に入れた場合の濁度よりも大きくなったことから、先行研究のとおり、チョコレートでのコーティングが人工胃液に入れたときに乳酸菌の生存率を高めることが確かめられた。

【実験Ⅲ】

濁度			
チョコ	ハチミツ	シロップ	無処理
0.15	0.054	0.019	0.0028



実験Ⅲ

(グラフではチョコレートでコーティングして人工胃液に入れた場合をチョコ、ハチミツの場合をハチミツ、ケーキシロップの場合をケーキシロップ、コーティング無しで人工胃液に入れた場合を無処理と表記、グラフの縦軸は濁度の数値、濁度は全て6回計測した平均値)

ハチミツ、ケーキシロップでコーティングした場合は、濁度がチョコレートでコーティングした場合よりは小さいが、コーティング無しの場合よりも大きくなった。このことから、チョコレートの他に、ハチミツ、ケーキシロップでコーティングすることでも、人工胃液に入れたとき乳酸菌の生存率が高まることが分かった。

実験より乳酸菌は酸に弱いことが確かめられた。また、先行研究のチョコレートでコーティングすることで、乳酸菌を人工胃液に入れたときの生存率が高くなることが確かめられた。加えて、チョコレート以外の物質では、ハチミツ、ケーキシロップでコーティングすることで、程度に差はあるが乳酸菌を人工胃液に入れたときの生存率が高まることが分かった。

チョコレートが最も効果が高い原因としては、ハチミツ、ケーキシロップと比べて固

まることと、含まれている油分に疎水性があることが挙げられる。それによって、乳酸菌が酸の強い人工胃液に触れなかったと考えられる。

5 まとめ

これらのことから今後の展望として、チョコレートと同じように、コーティングしたときに固まる物質(ex.ゼラチン、飴など)や、油分を含む物質(ex.食用油、マヨネーズなど)で乳酸菌をコーティングして実験を行う。

また、細菌を色素によって染め分ける方法の一つである、グラム染色によって乳酸菌を染色して顕微鏡で見ることで乳酸菌の増加を見る。

- 米島 靖記, 久 景子, 松原 由以子. チョコレートでとる乳酸菌 乳酸菌を腸で活躍させるために. 化学と生物. 56(1). 2018. 47 - 51
- Yasunori Yonejima, Keiko Hisa, Marina Kawaguchi, Hiroaki Ashitani, Toshiyuki Koyama, Yoko Usamirank, Nayumi Kishida, Shigenobu Kishino, Jun Ogawa. Lactic acid bacteria-containing chocolate as a practical probiotic product with increased acid tolerance. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 4(4), 773-777(2015).

コイル周辺の条件が電磁誘導に与える影響

班員 家 一步希、小倉 功暉、中山 健斗、藤巻 和雅
担当教諭 山本 一博

キーワード：電磁誘導、誘導電流、電力量、透磁率、磁気遮蔽

In electromagnetic induction, we compared induced current and electrical energy by varying substances around a coil, the quantity, and the position. Iron outside the coil, copper, aluminum, and nickel didn't have any effect, while iron inside the coil made the induced current decline temporarily when the magnet was dropped, and so the electrical energy decreased. In addition, electrical energy decreased as the quantity of iron was increased and the iron was placed inside the coil more. However, the decrease was limited. As for the reason of the phenomenon, we considered that iron is a ferromagnet whose magnetic permeability is high and that magnetic shielding happened by iron.

1 はじめに

電磁誘導は、コイルを貫く磁束の変化によって、コイルに誘導起電力が生じる現象である。この電磁誘導は、発電機やIH調理器、非接触ICカードなどに利用されているが、その周囲には金属などのさまざまな物質が存在する。しかし、こうした物質が電磁誘導にどれだけ影響するかについての研究は少ない。そこで、電磁誘導において、コイルの周囲の条件が電磁誘導に及ぼす影響を明らかにすることを目的に本研究を行った。

2 方法

アクリルパイプ、容器、500巻きコイルを用いて、図1に示す実験装置を作製した。実験装置は、容器の中に配置した500巻きコイルの中をアクリルパイプが貫く構造になっており、棒磁石を同じ向きを保ったまま、コイルの中を確実に通過させることができる。ここで、コイルの周囲の条件を実験Ⅰ～Ⅲにおいて、それぞれ設定した。実験装置で、長さ10cmの棒磁石をコイル上面から75cmの高さからパイプの中に落下させ、コイルの中を通過させた。そのときにコイルに流れた誘導電流を、ワイヤレス電流セ



図1 実験装置

ンサ（島津理化）を用いて記録した。その後、記録した誘導電流の値から電力量を算出した。電力量の算出にあたり、電圧計で正確な電圧を測定することができなかったため、本研究では比較のためだけに用いるので、コイルの抵抗を1と定めて、 $(\text{電力}) = (\text{電流})^2$ とし、台形積分法によって電力を時間で積分した。電力量に関しては、10回の平均を求めた。

3 実験

実験Ⅰ コイルの周囲の物質による影響

【方法】

【A-1】コイルの内側に5cmに切った鉄線195本（図2）、【A-2】コイルの外側に5cmに切った鉄線195本、コイルの内側に【B】5cmに切った銅線195本（図3）、【C】高さ5cmの50重にしたアルミホイル（図4）、【D】130巻きのニッケル線（図5）を置いた。



図2 【A-1】内側の鉄



図3 【B】内側の銅



図4 【C】内側のアルミ



図5 【D】内側のニッケル

【結果】

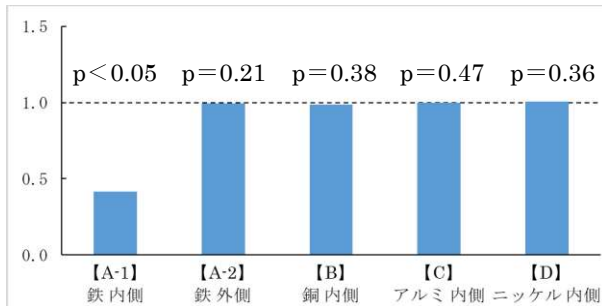


図6 なしの場合を1とした時の電力量の比率
(なしの場合とt検定、N=10)

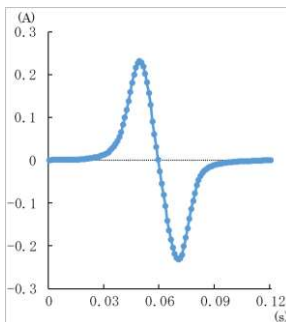


図7
鉄線がない場合の誘導電流の変化

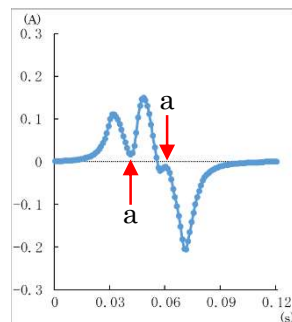


図8
コイル内に鉄線が存在する場合の誘導電流の変化

図6に示すように、コイルの内側に【B】銅、【C】アルミニウム、【D】ニッケルを置いた場合は、なしの場合とのt検定により、有意差はなかった。【A-1】コイルの内側に鉄を置いた場合は、電力量が半分程度に減少し、なしの場合とのt検定により、有意差があった。一方で、【A-2】コイルの外側に鉄を置いた場合は、電力量の減少は見られず、なしの場合とのt検定により、有意差はなかった。

磁石落下時の誘導電流の変化を比較すると、通常は図7のような変化を示すが、コイル内に鉄が存在する場合は、図8に示すように、誘導電流が流れ始めるタイミングが早くなり、その後、誘導電流の増加が一時的に抑えられ、減少する部分(a)が見られた。

実験Ⅱ 鉄の量による影響の変化

【方法】

コイルの内側に置く5cmに切った鉄線の本数を0本から390本まで増やしていった。

【結果】

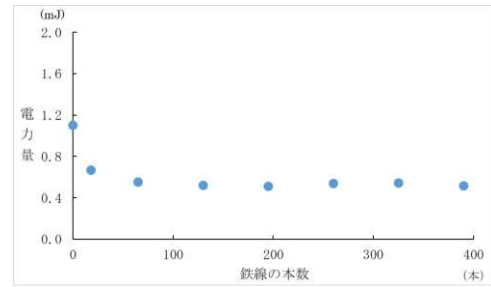


図9 鉄線の本数と電力量の関係

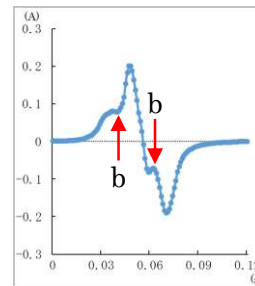


図10
鉄線18本の場合の誘導電流の変化

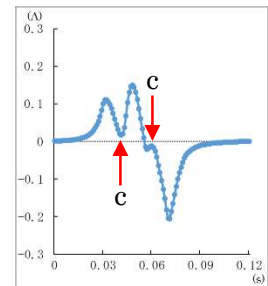


図11
鉄線65~390本の場合の誘導電流の変化

図9に示すように、電力量が鉄線0本の場合の半分程度になるまでは電力量が減少したが、それ以降は一定となった。また、磁石落下時の誘導電流の変化を比較すると、鉄線18本の場合(図10)はあまり減少しなかった(b)のに対し、鉄線65~390本の場合(図11)は大きく抑えられ、約0Aまで減少した(c)。これが0Aを下回るまで減少することはなかった。

実験Ⅲ 鉄の位置による影響の変化

【方法】

コイルの内側に置く長さ5cmの鉄線65本の上端の位置を、コイル上面を基準として、+8cmから-10cmまで、2cmずつパイプに沿って上下させた。

【結果】

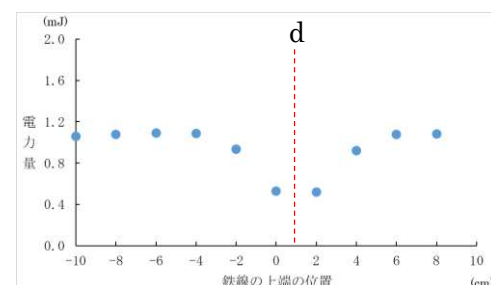


図12 鉄線の上端の位置と電力量の関係

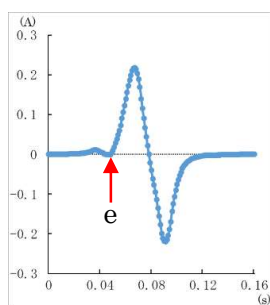


図 13
+8cm の場合の誘導電流
の変化

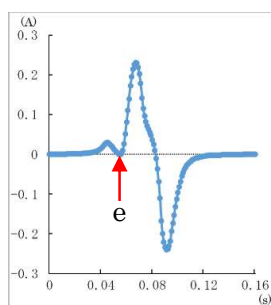


図 14
+6cm の場合の誘導電流
の変化

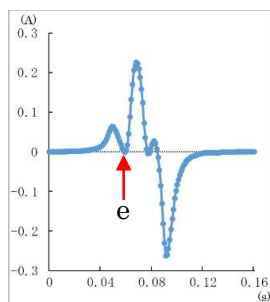


図 15
+4cm の場合の誘導電流
の変化

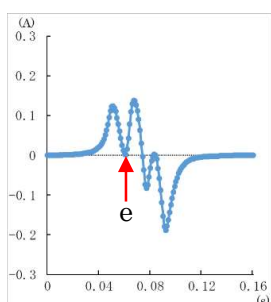


図 16
+2cm の場合の誘導電流
の変化

図12に示すように、鉄線の上端の位置が－4cm～0cm、および、+6cm～+2cmになるにかけて、電力量が半分程度に減少した。コイルの中心と鉄線の中心が一致する位置に鉄線が存在する場合（d）に電力量が最も減少すると考えられる。また、図13～図16に示すように、磁石落下時の誘導電流の変化を比較すると、鉄がコイルに近づくにつれて、誘導電流が一時的に減少するタイミング（e）が移動し、その減少が急になった。この現象は、鉄線の上端の位置が負の場合にも見られた。

実験Ⅳ 磁束密度の変化の測定

【方法】

パイプの周囲に長さ5cmの鉄線を65本および130本置いた場合と置かない場合において、棒磁石につけた糸を約1cm/sで引き、棒磁石を下から上にパイプの中を通過させた。磁気センサーを搭載したスマートフォンを、鉄線の中心から真横に2.5cmの位置に磁気センサーがくるように置き、その時の鉄線の外側となる空間の磁束密度の変化をそれぞれ2回ずつ記録した。

【結果】

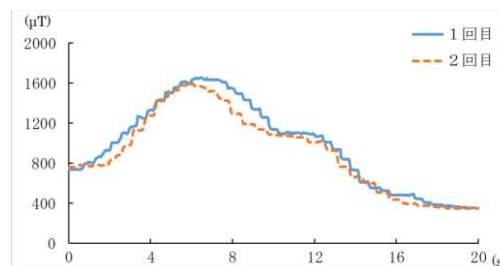


図 17 鉄線がない場合の磁束密度の変化

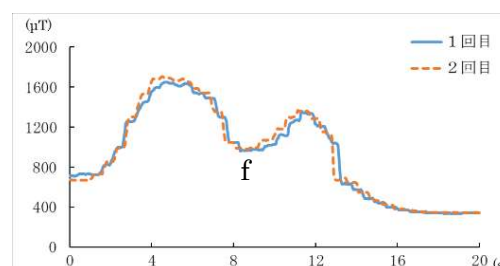


図 18 鉄線 65 本の場合の磁束密度の変化

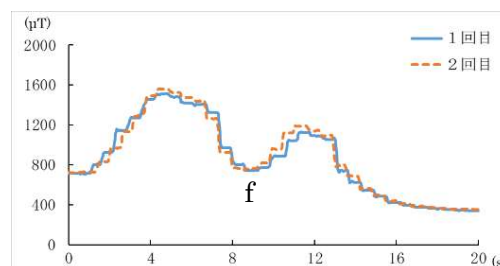


図 19 鉄線 130 本の場合の磁束密度の変化

鉄線なしの場合(図17)と鉄線ありの場合(図18、図19)を比較すると、磁石が鉄線の中心を通過したあたりで、鉄線ありの場合に磁束密度が一時的に減少する部分(f)が見られた。また、鉄線65本の場合(図18)と130本の場合(図19)を比較すると、鉄線130本の方がより低い値まで減少した。

4 考察

実験Ⅰにおいて、コイル内に鉄が存在する場合のみ影響が見られたのは、鉄が他の金属に比べて、特に透磁率が高く、強磁性体であることが考えられる。それぞれの物質の比透磁率は、銅が0.999990⁽¹⁾、アルミニウムが1.000021⁽¹⁾とほぼ1、ニッケルが100～600⁽²⁾であるのに対し、鉄は6000～8000⁽³⁾である。

実験Ⅱにおいて、電力量に下限が存在するのは、誘導電流が一時的に減少する際に0Aを下

回ることがないからだと考えられる。

また、実験Ⅲにおいて、鉄がコイルに近づくにつれて、誘導電流の一時的な減少が急になるため、その結果、電力量に対する影響が大きくなると考えられる。

実験Ⅰ～Ⅳを踏まえ、コイル内に鉄が存在する場合に見られた影響について、次の2段階に分けて考えた。

① 鉄によって磁束密度が大きくなり、誘導電流が流れ始めるタイミングが早くなったとともに、誘導電流が増加した。

② 鉄によって磁気遮蔽が起こった結果、誘導電流が一時的に減少した。

①の磁束密度の増加について考察する。磁束密度(\vec{B})は透磁率 μ と磁場 \vec{H} を用いて次式で与えられる。

$$\vec{B} = \mu \vec{H}$$

また、磁束(Φ)はコイルの断面積 S を用いて次式で与えられる。

$$\Phi = BS$$

周囲の物質の透磁率が大きいと磁束密度が大きくなり、それに伴って、磁束も大きくなる。そのため、磁束の変化も大きくなり、誘導起電力および誘導電流が増加すると考えられる。

次に、②の磁気遮蔽について考察する。実験Ⅳにおいて、鉄が存在する場合には、磁束密度が誘導電流の変化と同じように一時的に減少することが確認できた。磁束密度が減少したことから、磁束が妨げられたと考えられる。また、鉄がコイル内に存在する場合の電力の値から鉄が存在しない場合の電力の値を引いた値は、図20に示すような波形となり、鉄線を貫く磁束の変化から予想される電力変化の波形とほぼ一致している。また、図20の矢印 g が示す、磁束の変化が妨げられ始めてから誘導電流の正負が入れ替わるまでの時間0.02秒、磁石の落下速度3.8m/sより、その間の磁石の移動距離は7.6cmとなる。これは、磁石の下端が鉄線の上端を通過してから、磁石の中心が鉄線の中心を通過するまでの磁石の移動距離とほぼ一致す

る。これらのことより、磁気遮蔽が起こったと考えられる。

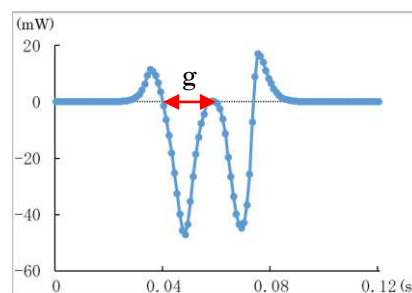


図 20
(鉄ありの電力)－(鉄なしの電力)の値

実験Ⅰにおいて、コイルの外側に鉄が存在する場合に影響が見られなかったのは、鉄がコイル内になかったため、磁気遮蔽が起こらず、磁束が妨げられなかったからであり、また、実験Ⅱにおいて、鉄線の本数を増やしても電力量が変化しなかったのは、鉄線65本の時点で磁束がほぼ完全に妨げられたからだと考えられる。

電磁誘導はIH調理器に利用されている。IH調理器で鉄およびステンレス製の鍋を使用すると、磁気を鍋に閉じ込めやすいという利点もあると考えられる。磁気を鍋に閉じ込めやすいと、渦電流が多く発生し、効率よく温めることが可能である。

5 まとめ

鉄は、透磁率が高い強磁性体である。そのため、電磁誘導において、コイル内に鉄が存在する場合には、鉄の量がより多く、コイルのより内部にあるとき、磁気遮蔽によって誘導電流が減少し、それにつれて電力量も減少するが、下限が存在する。

6 参考文献

- (1) 國友正和．改訂版総合物理2 一波・電気と磁気・原子ー．数研出版株式会社．2020
- (2) フランク・B・ギブニー．ブリタニカ国際百科事典15．株式会社ティービーエス・ブリタニカ．1974
- (3) 国立天文台．理科年表 平成28年度．丸善出版株式会社．2015

ラムスデン現象の膜生成に対する阻害方法

班員 池田 陽翔、小石 丈琉、島田 英嗣、宮田 さつき

担当教諭 福光 英徳

キーワード：ラムスデン現象、牛乳、塩析、親水基

We conducted research on how to inhibit the production of scum on milk called the Ramsden phenomenon. We found that this phenomenon is inhibited by reducing evaporation and salting out..

1 はじめに

ラムスデン現象とは、たんぱく質と脂肪を含む液体を加熱することにより、表面に膜ができる現象である。ラムスデン現象において、膜の生成を阻害する方法と発生要因の解明を目的とし研究した。「3 塩化ナトリウム量と膜生成量の関係」では、溶質粒子が直接膜の生成を阻害すると考えて、塩化ナトリウムを加えた。

「4 リン酸アンモニウム量と膜生成量の関係」では、「3 塩化ナトリウム量と膜生成量の関係」で起こった膜の生成量の増加が塩析によるものかどうかの検証のため、1 価の塩化ナトリウムよりも電荷の大きい3 価のリン酸アンモニウムを加えた。「5 エタノール量と膜生成量の関係」では、親水基(ヒドロキシ基)が牛乳の蒸発を抑制することによって、膜の生成を阻害できると考え、ヒドロキシ基を1 つもつエタノールを加えた。「6 グルコース量、ラクトース量と膜生成量の関係」では、「5 エタノール量と膜生成量の関係」の反省を踏まえ、共沸がおこらないグルコース、ラクトースを加え、親水基がもつ保水性のみによる膜の生成の阻害について調べた。

2 材料と方法

牛乳30mLに実験の対象とする溶質を一定の

量ずつ入れ、ウォーターバス(図1)を用いて75℃で1時間湯煎した。放冷による膜の生成量の増加がみられたため、その上限であった5分間放冷した。その後、吸引ろ過装置(図2)を用いて2日後に膜を取り出した。これも乾燥時に膜の生成量の増加がみられたため、その上限であった2日後に膜の生成量を量った。以下の実験は全てこの方法で行った。なお「3 塩化ナトリウム量と膜生成量の関係」の実験では加える溶質粒子である塩化ナトリウム量を0.20g～1.60gの8段階で変化させ実験を4回行った。「4 リン酸アンモニウム量と膜生成量の関係」ではリン酸アンモニウム量を0.11g～0.56gの5段階で変化させ実験を3回行った。「5 エタノール量と膜生成量の関係」ではエタノール量を1.1g～5.4gの5段階で変化させ実験を3回行った。「6 グルコース量、ラクトース量と膜生成量の関係」ではグルコース量とラクトース量を $2.9 \times 10^{-3} \text{mol}$ ～ $1.5 \times 10^{-2} \text{mol}$ の5段階で変化させ実験を5回行った。



図1 ウォーターバス



図2 吸引ろ過装置

3 塩化ナトリウム量と膜生成量の関係

仮説

ラムスデン現象は液体表面の蒸発によって発生すると考えられている。実際に、牛乳の表面を覆って、実験したところ、膜の生成が阻害された。そこで、液体表面の蒸発を抑制する溶質粒子を加えることによって、蒸発が抑制され、膜の生成を阻害することができる(図3)と考えた。そこで、「3 塩化ナトリウム量と膜生成量の関係」では、牛乳に塩化ナトリウムを加えることで、溶質粒子が膜の生成にどのように影響しているかを調べた。

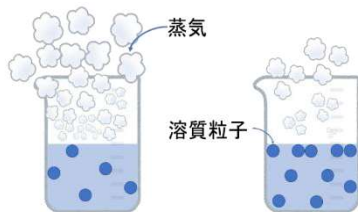


図3 溶質粒子による蒸発の抑制の様子

実験結果

図4は加えた塩化ナトリウムの質量と膜の生成量の関係について表している。グラフを見たらわかるように、膜の生成量は、加えた塩化ナトリウムの質量が1.2gまでは減少し、それ以降は増加した。

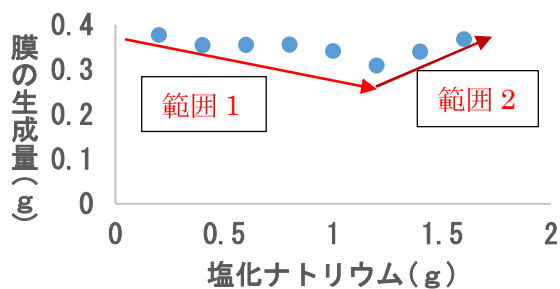


図4 塩化ナトリウム量と膜生成量の関係

考察

範囲1の膜の生成量の減少は溶質粒子による物理的阻害、範囲2の膜の生成量の増加は塩析の影響で、凝固物が生成されることにより、体

の質量が増加して起こった。

4 リン酸アンモニウム量と膜生成量の関係

仮説

「3 塩化ナトリウム量と膜の生成量の関係」における1.2g以降の膜生成の増加の原因は塩析によるものであると考察をしたが、その確からしさを調べようと、より価数の大きい3価のリン酸アンモニウムで「3」と同様に実験を行った。なお、塩析とは牛乳などのコロイド溶液に大量の電解質を加えることによって、コロイド粒子と結びついている水和水が電解質に奪われて、コロイドが集まり、沈殿が生じる現象のことである。

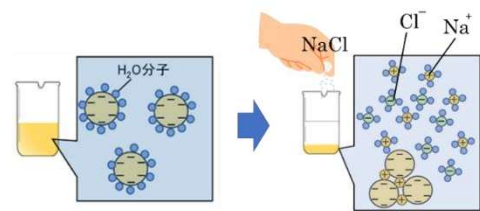


図5 塩析の様子

実験結果

下の表は、加えたリン酸アンモニウムの量と膜の生成の関係を表している。図6からリン酸アンモニウムを加えるほど、凝固物が生成されていることがわかる

表1 リン酸アンモニウム量と膜の生成

リン酸アンモニウム	膜の生成
0.11g	○ (0.364g)
0.22g	○ (0.346g)
0.34g	△
0.45g	△
0.56g	×

※ ○：膜のみが生成 △：膜と凝固物が生成
×：凝固物のみが生成



図6 リン酸アンモニウムの増加に伴う
凝固物の変化

※ 左からリン酸アンモニウムを0.11 g、
0.34 g、0.56 g 加えたもの。

考察

リン酸アンモニウムの増加に伴い膜の生成が阻害され、凝固物の生成が促進された。この結果は塩析の影響によって得られたと考えられる。

5 エタノール量と膜生成量の関係

仮説

「3 塩化ナトリウム量と膜生成量の関係」でも述べたように、ラムスデン現象は、液体表面からの蒸発によって起こると考えられる。そこで、「5 エタノール量と膜生成量の関係」では、牛乳の保水性を上昇させ、液体表面からの蒸発を抑制することによって、膜の生成を阻害できると考えた。牛乳に保水性を持たせるために、親水基に着目した。親水基は、水との親和力が大きいため、親水基を持つ物質が加えられると、その物質と牛乳の間の結びつきが強くなり、蒸発を抑制できると考えた。そこで、「5 エタノール量と膜生成量の関係」では、1分子あたり1つの親水基をもつエタノールを牛乳に加え、エタノール量と膜の生成量の関係を調べた。親水基が蒸発を抑制するため、膜の生成量は次第に減少すると考えた。

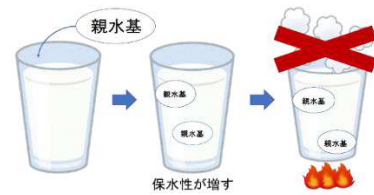


図7 親水基による蒸発の抑制の様子

実験結果

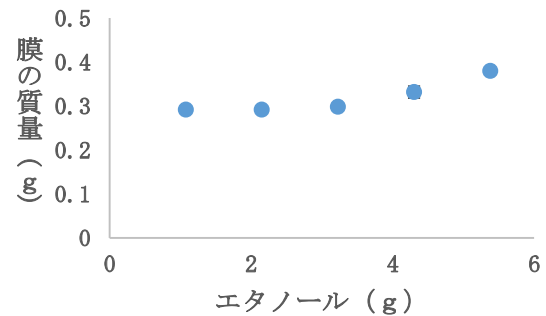


図8 エタノール量と膜生成量の関係

この図8は、加えたエタノールの量と膜の生成量の関係を表している。

考察

図8からわかるように、エタノール量を増やすにつれて、膜の生成量は増加した。これは、共沸による結果だと考えられる。共沸とは、特定の混合物を加熱したときに、沸点が下がる現象である。牛乳とエタノールの混合物の沸点が下がり、蒸発量が増加したことで、膜の生成量が増加したと考えられる。

6 グルコース量、ラクトース量と膜生成量の関係

仮説

「5 エタノール量と膜生成量の関係」において、共沸が起こったことから、親水基を持ち、共沸を起こさないグルコースとラクトースをそれぞれ一定の物質質量ずつ牛乳に加えることによって、親水基の数の違いによる膜の生成量

の変化を比較することができる考えた。グルコースは一分子あたりに親水基を5個持ち、ラクトースは一分子あたり8個持つ。

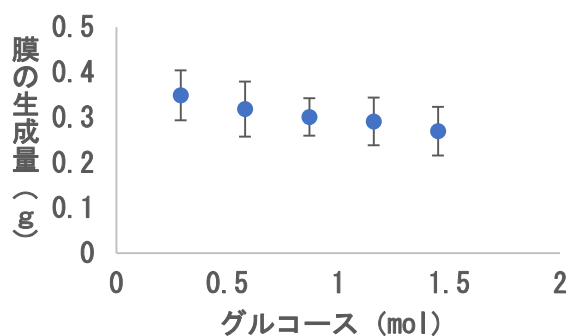


図9 グルコース量と膜生成量の関係

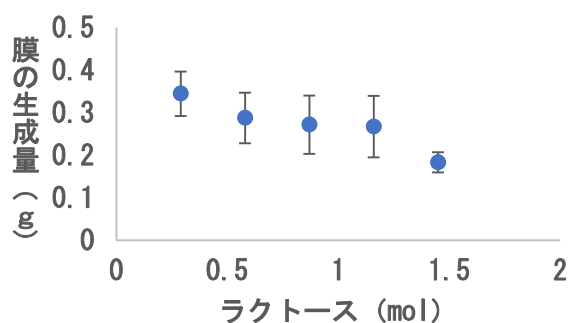


図10 ラクトース量と膜生成量の関係

実験結果

図9、10のグラフは加えたグルコース、ラクトースの量と膜の生成量の関係を表している。グルコースは一分子あたりに親水基を5個持っている。加えるグルコースの量が増加するほど膜の生成量は減少した。ラクトースは一分子あたりに親水基を8個持っている。加えるラクトースの量が増加するほど膜の生成量は減少した。

考察

親水基をもつグルコースまたはラクトースを加えることにより膜の生成量は減少した。親水基の数がグルコースとラクトースでは異なるにも関わらず、加えた物質量が同じ時の膜の生成量に差がほとんど見られず有意差がなか

った。よって親水基の数と膜の生成量には関係がなく、膜の生成が阻害された要因は溶質粒子による阻害だと考えられる。

7 全体の考察

塩化ナトリウムを加えた実験では溶質粒子が蒸発を抑制することにより膜の生成を阻害し、また塩析により凝固物の生成が促進された。リン酸アンモニウムを加えた実験では塩析による凝固物の増加の確からしさを示した。エタノールを加えた実験では共沸により蒸発量が増加し膜の生成が促進された。また、ラクトースとグルコースを加えた実験では溶質粒子が蒸発を抑制することによる膜の生成の阻害の確からしさを示した。これらの実験を通して、ラムスデン現象と牛乳の蒸発が関係していることは正しいといえる。すなわち、この現象を阻害する第一の方法としては、溶質粒子を加えることによって牛乳の蒸発を阻害することにある。また、今回の実験で塩析による牛乳に含まれる成分の凝集により膜の生成が阻害されていることを考えると、その凝集されている成分は膜の成分であることが考えられる。

8 今後の展望

現段階で、ラムスデン現象によって生成される膜の成分やその組成についてははっきりとはわかっていない。この膜の成分を知ることは本研究の発展につながると考えられる。そこで、今後は膜の成分を明らかにし、本実験以外の方法で膜生成の阻害方法について考えていきたい。また、これからは、牛乳の蒸発量を定量的に量る実験を行うことで、本実験で考慮しなかった蒸発量と膜の生成量の関係について調べていきたい。

海藻から抽出した色素の吸光度について

班員 塩谷 大和、新田 福人、濱名 りかこ、松本 岳生
担当教諭 井上 翔吾

キーワード：吸光度 光合成色素 吸光スペクトル

We conducted the research on the properties of photosynthetic pigments in seaweeds. We identified coloring matters seaweeds contain. Moreover, we measured waveform of absorption spectrum of seaweeds in ordinary temperature and low temperature. Then, we found that seaweeds in low temperature absorbed light more than those in ordinary temperature, and we identified the photosynthetic pigments concerned with increasing of the amount of absorbed light.

1 はじめに

海藻は特有の色素を持つことが知られている。能登地域に分布する複数種の海藻に含有する色素を調べた。また、光化学系 II に結合しているクロロフィルは液体窒素の低温状況下で蛍光量が増加することが報告されている（彦坂幸毅，1999.09.14）。そこで、蛍光量に大きく関係する吸光量に着目し、海藻の持つ色素を低温にさらした場合の吸光度の変化について実験した。

2 材料

乾燥した市販の緑藻（アオサ *Ulva sp.*）、紅藻（イワノリ *Porphyra pseudolinearis*）、褐藻（カジメ *Ecklonia cava*、アカモク *Sargassum horneri*、ワカメ *Undaria pinnatifida*）を用いて、以下の実験を行った。

3 実験 I

目的

海藻の種類ごとに含有する色素を抽出し、同定する。

材料

試料（前述の海藻）、乳鉢、乳棒、ピペット、試験管、コルク、TLCプレート、抽出液（アセトン）、展開液（石油エーテル：アセトン＝3：1）

方法：薄層クロマトグラフィー法による色素の同定

- ① 試料を適量、粉碎器で細かくくだいた。
- ② ①の試料を乳鉢に入れ、乳棒ですりつぶした。
- ③ ピペットを用いて抽出液を適量滴下し、さらにすりつぶして色素を抽出した。
- ④ 空の試験管に約 5ml 展開液を入れ、コルクで蓋をし、約 10 分間蒸発させ、試験管内に展開液を充満させた。
- ⑤ TLCプレートの下端から 2cm の箇所（Aとする）とAから 12cm の箇所（Bとする）にそれぞれ線を引き、A線の中央に抽出した色素を付着させた。
- ⑥ TLCプレートを、A線側を下にして④の試験管に入れ、コルクで蓋をして色素を展開した。展開液の前線がB線に至った時点で展開を終了させ、試験管からTLCプレートを取り出した。
- ⑦ 各色素の移動距離を測定し、色素の移動率である R_f 値を算出した。
 $R_f \text{ 値} = \text{各色素が移動した距離 } f / \text{色素を滴下した地点から展開液の前線までの距離 } R$ （図 2）
- ⑧ R_f 値と色素の色を先行研究と比較し、それぞれの色素の種類を同定した。

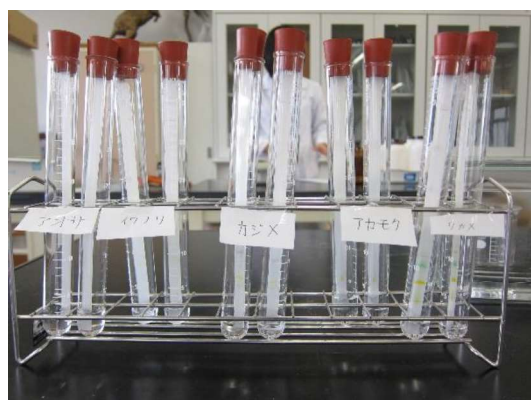


図1 クロマトグラフィーの様子

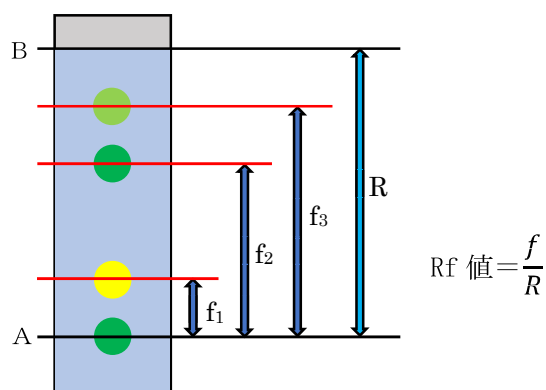


図2 Rf 値の算出方法

結果

海藻が持つ色素は表1のように推定できた。

表1 各海藻に含有する色素とRf値

色素名	アオサ	イワノリ	カジメ	アカモク	ワカメ
クロロフィルa	0.200	0.400	0.366	0.376	0.408
クロロフィルc	-	-	-	-	0
フコキサンチン	-	-	0.192	0.293	0.233
β-カロテン	-	0.375	-	9.992	-
フェオフィチンa	-	-	0.517	0.564	0.525
フィコエリスリン	-	0.008	-	-	-

すべての海藻にクロロフィルaが共通して含まれていた。また、褐藻は緑藻、紅藻には含まれないフコキサンチンとフェオフィチンaを共通して持つことが分かった。さらに、紅藻であるイワノリは、他種が持たないフィコエリスリンを持っていた。

4 実験Ⅱ

目的

液体窒素による低温状況下では色素の蛍光量が増加する(彦坂幸毅, 1999. 09. 14)。蛍光に関係する吸光に着目して、低温状況は、吸光量に影響

を与えるかどうかを調べる。

材料

試料(前述の海藻)、スクリー管、70%エタノール溶液、ワイヤレス分光センサ(島津理化)



図3 ワイヤレス分光センサ

方法

- ① 試料1.5gを70%のエタノール溶液に40分間浸して色素を抽出した。
- ② 試料を取り除いた色素の溶液をスクリー管に入れ、溶液を直射日光が当たらない条件で2時間常温(20℃)または、低温(12℃)で保存した。
- ③ ワイヤレス分光センサを用いて保存温度の異なる抽出液の吸光スペクトルを計測した。温度間で吸光スペクトルの波形の違いに着目して波長と吸光量を比較した。

結果

各海藻の吸光スペクトルは図4～8のように測定できた。

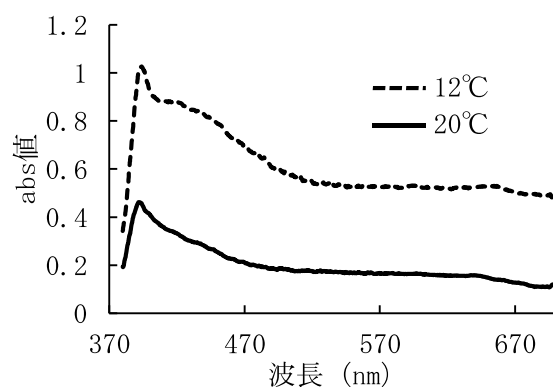


図4 12℃と、20℃で保存したアオサの抽出液の吸光スペクトル

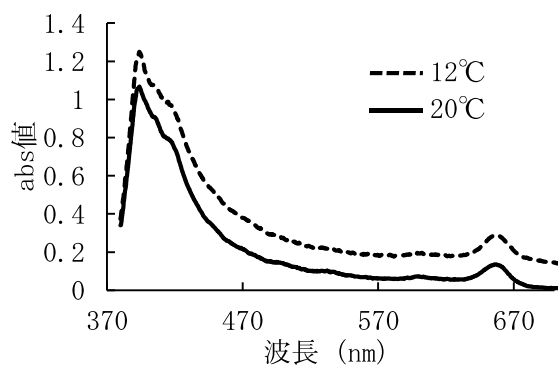


図5 12℃と、20℃で保存した
イワノリの抽出液の吸光スペクトル

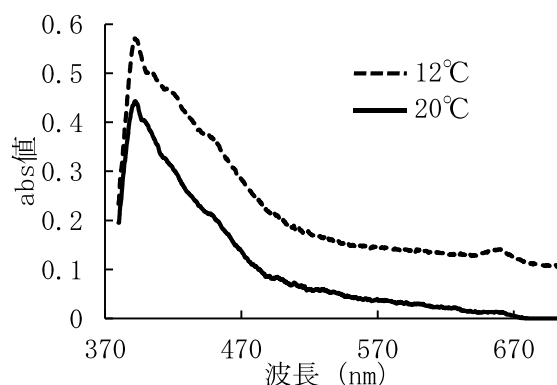


図6 12℃と、20℃で保存した
カジメの抽出液の吸光スペクトル

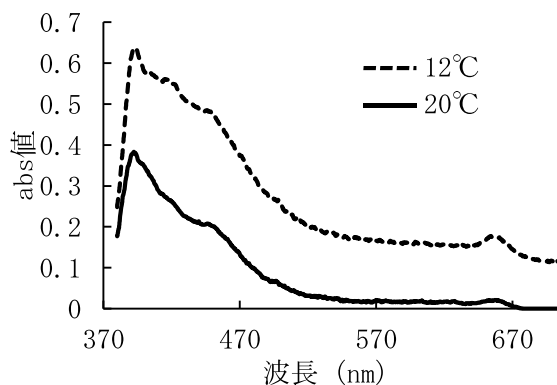


図7 12℃と、20℃で保存した
アカモクの抽出液の吸光スペクトル

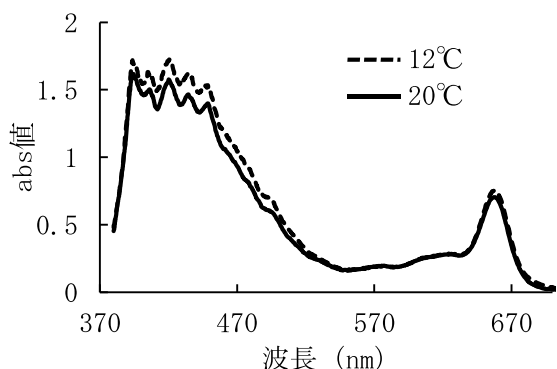


図8 12℃と、20℃で保存した
ワカメの抽出液の吸光スペクトル

すべての海藻において、12℃で保存した場合の抽出液の吸光度が20℃で保存したものより上回っていた。特に、12℃保存の吸光度が大きく上回ったものを表2に示す。どの海藻でも、400～500nmと650～670nmの範囲で、差が大きかった。

液体窒素を用いずとも、12℃程度の低温でも吸光量の変化を確認できた。

表2 海藻ごとの特に吸光度の差が大きかった波長域

海藻	特に吸光度の差が大きかった波長域	
アオサ	400～520nm	650～700nm
イワノリ	400～500nm	660～670nm
カジメ	400～520nm	650～670nm
アカモク	400～500nm	650～670nm
ワカメ	400～450nm	650～670nm

5 考察

実験Ⅰでは海藻がもつ光合成色素の種類を、実験Ⅱでは常温下と低温下での吸光量の差が大きかった波長域を特定できた。また、それぞれの光合成色素の吸光スペクトルはわかっている（日本光合成学会, 2015. 04）ので、冷蔵による吸光度の増加に関わる色素を特定した。

調べた海藻すべてにクロロフィルaが含まれていた。また、すべての海藻において冷蔵後の吸光度が400～450nmと650～670nmで大きく変化していた。これはクロロフィルaの吸光域（図9）と一致するため、この吸光量の増加にはクロロフィルaが関係していると考えられる。つまり、クロロフィルaは冷蔵により、吸光量が増加すると予想される。

カジメ、アカモク、ワカメはフェオフィチンaを持つが、フェオフィチンaの吸光域（図10）である340～420nmでの吸光度の変化は見られなかった。よって、フェオフィチンaは冷蔵により吸光量が変化しないと考えられる。

同様に、イワノリで、フィコエリスリンの吸光域（図11）である500～590nmで吸光度の変化はみられなかったことから、フィコエリスリンは冷蔵によって吸光量が大きく変化しないと

考えられる。

クロロフィルc、フコキサンチン、 β -カロテンについてみるとその吸光域が、380～510nmで重複する(図12)。今回の結果では、380～510nmでも吸光度が上昇したが、これら3つの光合成色素のどれがこの波長域での吸光量の変化に関係しているかを識別できなかった。したがって温度との関係を知ることができなかった。

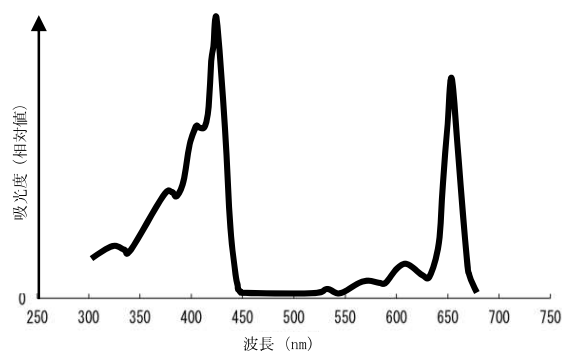


図9 クロロフィルaの吸光スペクトル

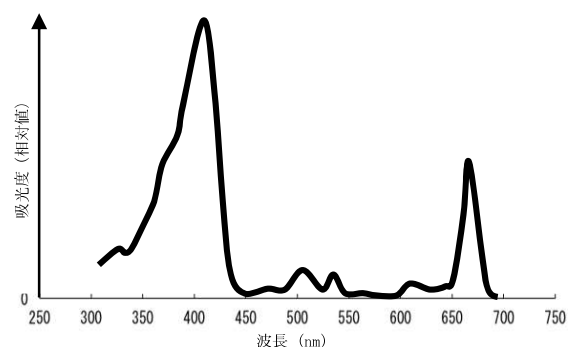


図10 フェオフィチンaの吸光スペクトル

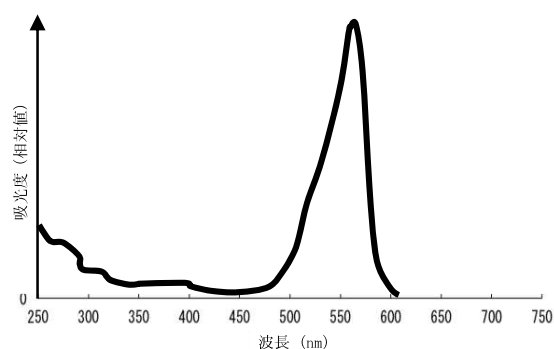


図11 フィコエリスリンの吸光スペクトル

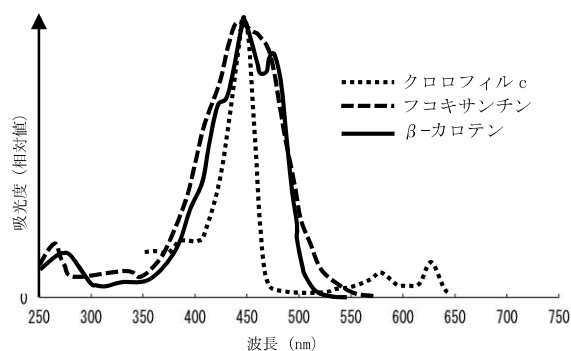


図12 クロロフィルc、フコキサンチン、 β -カロテンの吸光スペクトル

冷蔵後に吸光度が上昇した理由を考えると、実験に用いた海藻はどれも冬から春先に成長期を迎える(株式会社ヤマシタ 海藻図鑑-奥能登・日本海の海藻) 能登地域でのこの時期の海水温は9～14℃である(第九管区海上保安部, 2020)。よってこれらの海藻は、海水温が低い時期に成長するために、光合成色素は低温でより吸光量を増加させているのかもしれない。

6 今後の課題

吸光度の増加の原因についてクロロフィル凝集などを考慮して化学的観点から考察したい。また、今回特定できなかったクロロフィルc、フコキサンチン、 β -カロテンの吸光度の変化についても調べたい。

7 参考文献

- (1) 彦坂幸毅. 光合成研究の方法論.
<http://hostgk3.biology.tohoku.ac.jp/Hikosaka/fluorescence.html> (参照 2020/11/14)
- (2) 日本光合成学会, 光合成事典(クロロフィル類の吸光スペクトル)
<https://photosyn.jp/pwiki/> (参照 2020-11-04)