

# 令和6年度 七尾高校課題研究論文



## 自然科学研究Ⅱ (課題研究)

石川県立七尾高等学校

## 目 次

① メダカは鏡に映った自分を「自分」と認識できるのか・・・・・ P 1  
磯辺 悠生／金沢 寧々／蓮本 望乃／平野 立季 (担当教員 小林 広典)

② 尿素の散布量と融解した氷の質量の関係について・・・・・ P 5  
浅田 遥音／塩崎 隆登／正武田大悟／三柳 凜乃 (担当教員 小渕 裕香)

③ 七尾高校所蔵ヤマイヌ剥製標本は二ホンオオカミか・・・・・ P 9  
北谷内結月／竹澤 翔／山口 色葉／山端 美潤 (担当教員 寺尾 知晃)

④ 粘着テープにおける摩擦ルミネッセンスの発生条件について・・・・・ P13  
飯井咲希恵／丹後 真緒／辻口 歩実／中田 聰音 (担当教員 釜谷 智貴)

⑤ 対峙培養法におけるヒラタケとカビの成長範囲変化・・・・・ P17  
奥原 世梨／清水 茉優／延田 考聰／本多 正樹 (担当教員 谷野 智了)

⑥ 地盤内の水を減らすことによる液状化現象の防ぎ方・・・・・ P21  
楠 皓介／高木裕太朗／坊城 真智／森田隆太郎 (担当教員 山本 一博)

⑦ シャトルの壊れ具合と運動関係・・・・・ P25  
梶 はじめ／曾原 楓雅／文村 竜也／堀江 重晟 (担当教員 北原 点)

⑧ 植物の成長と光量子束密度及び温度の関係について・・・・・ P29  
櫻井 風歌／高山 莉空／谷口 想楽／福田 拓海 (担当教員 高畠 侑馬)

⑨ 柑橘類の成分の抗菌・抗真菌作用と成分間の相乗効果について・・・・・ P33  
木元 真央／新木慎侑子／村田 咲笑／矢田 瑛音 (担当教員 合田 恵史)

⑩ 机の上から落ちた紙が床の上で滑りやすくなる条件について・・・・・ P37  
柴田俊太郎／関野 拓也／二口晃太朗／山口 竜河 (担当教員 井藤 龍真)

# メダカ (*Oryzias latipes*) は鏡に映った自分を「自分」と認識できるか

班員 磯辺 悠生 金沢 寧々 蓮本 望乃 平野 立季  
担当教諭 小林 広典

キーワード：ミナミメダカ、自己鏡像認識能力、マークテスト

An experiment was conducted to test self-recognition in medaka (*Oryzias latipes*) using the mark test. Medaka with a visible mark on their body tended to face the mirror with the marked side exposed. This suggests that the medaka recognized the mark as a part of their own body, indicating potential self-awareness.

## 1 はじめに

自己鏡像認識能力とは、動物が鏡に映った像を自分自身の姿として認識できる能力を指す。この能力は、動物が鏡を見た際に、鏡に映るのが自分であることを理解し、その反応が自己の認識に基づいていることを示すものである。これまでに自己鏡像認識能力が確認されている動物としては、チンパンジー、イルカなどの哺乳類が知られている。しかし、魚類ではホンソメワケベラのみが唯一その能力を示すとされている (Kohda et al, 2019)。過去に、七尾高校でメダカの鏡像認識能力に関して研究が行われた。先行研究では、メダカに鏡を見せ、その行動を観察したり、別の水槽にメダカを1個体ずつ入れ、2つの水槽を並べて、その動きを観察することで、メダカが鏡を認識できるかどうかが調べられた。この研究では、メダカは鏡に引き寄せられることが確認でき、鏡に映った自分の姿に対して意識して反応を示していることがわかった。また、実験において6匹中4匹のメダカが繰り返し鏡の前で同じ動作を行ったことで、これが自己認識の証拠となる可能性が指摘された。メダカが鏡を認識し、その反応が自己認識に基づいている可能性があると考えられる。この研究を踏まえ、メダカが鏡に映った像を自己として認識する能力があるのかを確認するために、マークテストによる実験を行った。

## 2 材料と方法 結果

＜材料＞

- ・ミナミメダカ（ホームセンターで購入した）
- ・鏡 220mm×220mm
- ・水槽 155mm×310mm×235mm
- ・ビデオカメラ (SONY “FDR-AX45”)
- ・イラストマー蛍光タグ (株式会社田中三次郎商店)

※メダカが視認できる緑色を使用した。

＜実験1：鏡に対しての反応を見る（先行研究の追試）＞

＜目的＞

先行研究と同じ方法でメダカが鏡を認識するのかを調べる。

＜方法＞

メダカを、何も入れていない水槽と鏡が設置された水槽にそれぞれ1個体入れ、ビデオカメラで10分間行動を撮影した。撮影中、メダカが鏡に引き付けられていると考えられる範囲内にいる時間と、範囲外にいる時間を計測し、記録した。鏡の前の範囲で水槽の半分から鏡側で、割合として全体の25%部分に「範囲内」と定義した。そして、メダカがその範囲内にいる際にビデオカメラ側を向いていない場合、鏡を認識していると定義した。周囲の環境からの影

響をなくすため、窓のない小部屋で実験を行った。

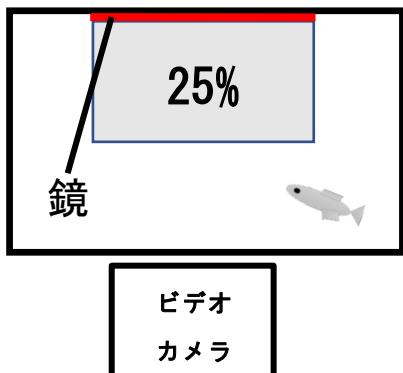


図1 実験装置を上から見た様子

図のように水槽の半分より鏡側で鏡の前を「範囲内」とした。

#### <統計方法>

メダカの行動の平均時間を比較するため、<実験1>では直接確率検定のみ行った。

#### <結果1>

鏡がないときでは範囲外にいた時間は8分18秒、範囲内にいた時間は1分42秒で範囲外が有意に長かった（図2）。また、鏡がある場合では範囲外にいた時間は、3分48秒範囲内にいた時間は6分12秒で範囲内が有意に長かった（図3）。

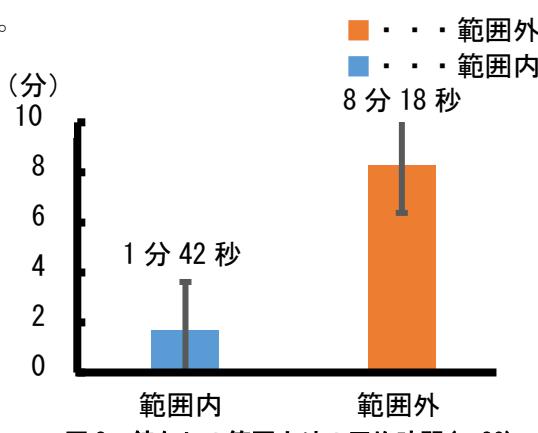


図2 鏡なしの範囲内外の平均時間(n=20)

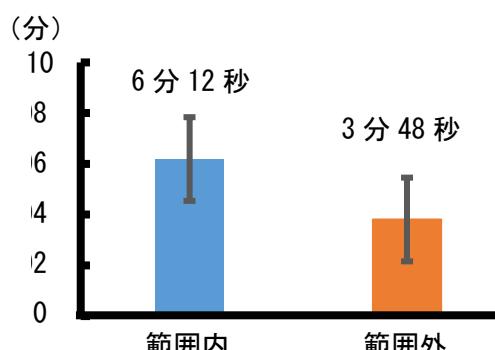


図3 鏡ありの範囲内外の平均時間(n=18)

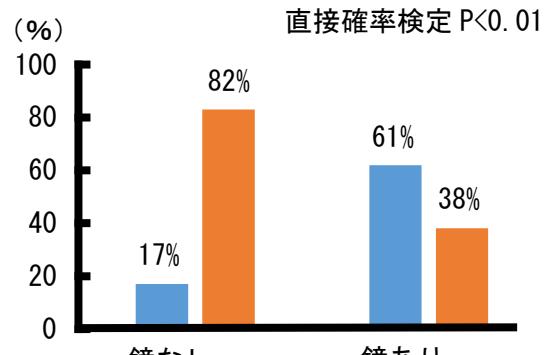


図4 鏡なしと鏡ありの範囲内外の平均時間の割合

#### <結果2>

鏡を入れなかったときメダカが範囲内にいた平均時間の割合よりも範囲外にいた平均時間の割合が高かった。鏡を入れたとき、メダカが範囲外にいた平均時間の割合よりも範囲内にいた平均時間の割合が高かった。

#### <考察1>

鏡を入れたときメダカが範囲内にいた時間が鏡を入れなかったときよりも長かったことから、先行研究と同様にメダカは鏡を認識していると考えられる。

#### <実験2：マークテスト>

##### <目的2>

メダカが鏡に映った像を自身であると認識しているのかを調べる。

##### <方法2>

次の方法でメダカの背中に注射器でマークをつけた（図5）。水：炭酸水=4:1の割合で麻酔液を調製し、メダカをその中に約2分間入れて麻酔を施した。メダカの動きが完全に止まったことを確認した後、イラストマー蛍光タグ（緑色：魚が視認しやすい色）を使用して、メダカの体にマークをつけた。合計でメダカの左半身（n=5）および右半身（n=7）にそれぞれ注射器でマークを付けた。その時、メダカが鏡に右側を向いているとき、左側を向いているとき、正面を向いているときの時間をそれぞれ記録した。

<マーク方法>

マークの施術後、水槽に鏡を設置し、実験1と同様の条件下で10分間ビデオカメラで撮影を行った。実験においても撮影は周りの環境の影響が少ない暗室内で撮影した。その時、メダカが鏡に右側を向いているとき、左側を向いているとき、正面を向いているときの時間をそれぞれ記録した。

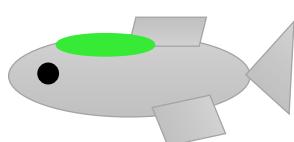


図5 マーク箇所

<統計方法>

メダカの行動の時間の割合を比較するため、<実験2>ではカイ二乗検定を行った。

<結果2>

マークなしの場合、右側を向けた時間は範囲内にいた時間の約39%、左側を向けた時間は約35%、正面を向けた時間は約25%だった。それぞれの時間の割合の間に有意差はみられなかった（図6、n=18）。マークなしの状態では、メダカは鏡に対してどの方向を向くかに特に偏りがなく、ランダムな行動が観察された。マークを左側につけた場合、右側を向けた時間の割合は約34%、左側を向けた時間の割合は約49%、正面を向けた時間の割合は約17%となり、右側と正面、左側と正面の間でそれぞれ有意差がみられた（p<0.05、カイ二乗検定、図7、n=5）。マークを右側につけた場合、右側を向けた時間の割合は約41%、正面を向けた時間の割合は約24%となり、右側と正面の間で有意差がみられた（p<0.05、カイ二乗検定、図8、n=7）。

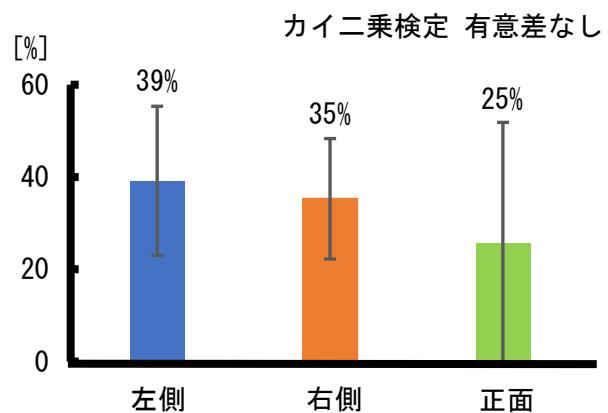


図6 マークなし (n=18)

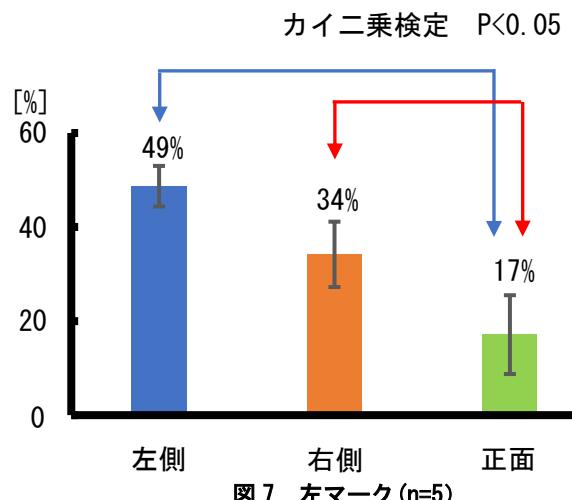


図7 左マーク (n=5)

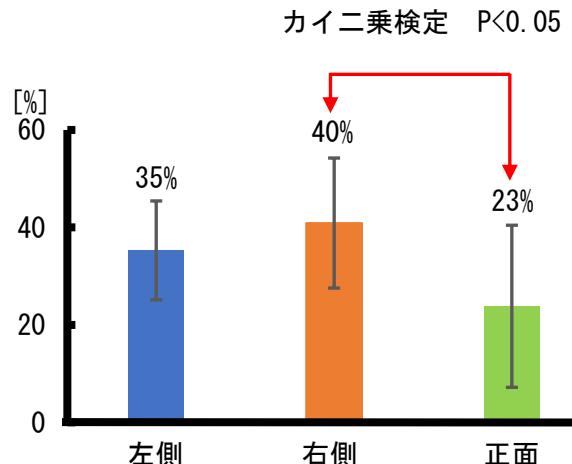


図8 右マーク (n=7)

<考察2>

マークなしの場合、メダカは鏡に対してどの方向を向くかに特に偏りがなく、ランダムな行動が観察された。マークを付けた場合、正面を向けたときの時間の割合が減り、側面を向けた

時の時間が増えたことから、メダカは、マークをつけると体の側面を意識していたと考えられる。このことからメダカはつまり鏡に映った自分を「自分」と認識している可能性があると考えられる。

### 3 結論

メダカは先行研究同様に鏡を認識していると考えられる。さらにマークをつけたことでメダカが自身の体側面を見る時間が増えたことから、メダカはマークを意識しており、自己を認識している可能性が高いと考えられる。

### 4 今後の展望

実験1よりメダカに鏡を見せると鏡を認識し、引き付けられ、実験2よりメダカにマークをつけ再度鏡を見せると、マークを意識しているような行動がみられた。しかし、メダカが鏡像を自己と認識しているかはわからない。そこでメダカが自己認識していることをより明確にするために、今後はメダカがマークを認識できるのかについてさらに調べる必要がある。メダカがマークを認識することが断定されればメダカが自分のマークを認識し、意識的に鏡に近づいている可能性が高くなり、自己鏡像認識能力があることについても断定できるだろう。

#### <今後の実験について>

メダカが持つ個体識別能力を利用して、マークをつけていない個体が他の個体についているマークを認識できるかについて実験を行う。

#### <現在行っている実験>

マークなしの個体とマークあり個体のそれぞれ1匹ずつを同じ水槽にいれる。そして、マークなしの個体に対しての反応とマークありの個体に対しての反応を比較する。そして、マークの有無による行動の変化や近づく頻度の変化を観察していく、メダカがマークを認識するのかを断定していきたい。

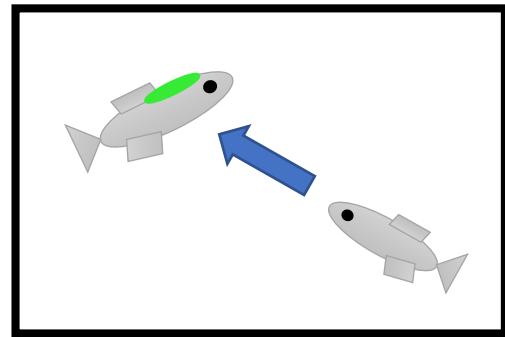


図9 現在行っている実験の様子

### 5 参考文献

- (1) 小嶋祥三. 動物の意識：靈長類の自己鏡映像への反応. 失語症研究. 1995年, 15巻, 2号, p. 141-147. J-STAGE, 2024年10月16日.
- (2) 草山太一, 池田譲, 入江尚子, 陳香澄, 坪川達也, 武野純一, 酒井麻衣. 自己鏡映像認知への温故知新. 動物心理学研究. 2012年, 62巻, 1号, p. 111-124. J-STAGE, 2024年10月16日.
- (3) 磯辺唯花, 梶葉月希, 通眞子, 橋詰あかり. 鏡に対するメダカ (*Oryzias Latipes*) の反応と行動. 令和元年度七尾高校SSH課題研究論文. 2021年. 石川県立七尾高等学校ホームページ, 2024年4月4日.
- (4) Masanori Kohda, Takashi Hotta, Tomohiro Takeyama, Satoshi Awata, Hirokazu Tanaka, Jun-ya Asai, Alex L. Jordan. "If a fish can pass the mark test, what are the implications for consciousness and self-awareness testing in animals?" PLOS BIOLOGY. 2019, 20(2), e3001529.

### 6 謝辞

今回の実験で金沢大学の竹内先生にイラストマーク蛍光タグを提供していただきました。お礼申し上げます。

# 尿素の散布量と融解した氷の質量の関係について

班員 浅田 遥音, 塩崎 隆登, 正武田 大悟, 三柳 凜乃  
担当教諭 小渕 裕香

キーワード：尿素, 融雪剤, 凝固点降下

We researched the effectiveness of urea as a snow melting agent. We sprayed urea on ice and measured the amount of melted ice. In this experiment, we found that an effective urea application is 4.0 g for a snow melting agent when 54 cm<sup>2</sup> of ice is melted in an hour. Also, longer experiments can increase the effectiveness of urea as a snowmelting agent.

## 1 はじめに

尿素は融雪剤として用いられている。融雪剤は氷や雪を融かすために使われ、尿素融雪剤は、凝固点降下の仕組みを利用した融雪剤である。尿素を氷の表面に散布すると、尿素が氷の表面の水に溶解する。このとき、溶解した尿素が水分子の結びつきを妨げるため、凝固点降下が起こる。それにより、固体の状態で存在できない水が現れ、その分の氷が融解する。

尿素融雪剤は、塩害を生じさせないというメリットがある。尿素融雪剤が普及することで、塩害によって植物の生育が妨げられることや、金属が錆びることを避けることができる。しかし、尿素は塩化カルシウムと比べて、融雪剤として広く使用されていない。その理由として、他の融雪剤と比べてその効果についての先行研究が少なく、現状では知見がほとんど存在しないことが考えられる。また、散布量の目安が尿素融雪剤の販売元によって、20 g/m<sup>2</sup>から200 g/m<sup>2</sup>と異なり、最適な散布量が不明である。そのため、現状としては、一般には融雪剤として塩化カルシウムがよく用いられ、尿素融雪剤はほとんど普及していない。

そこで、本研究では、尿素の融雪剤としての最適な散布量を示すことを目的とした。尿素を氷の表面に散布し、その散布量と融解した氷の質量(以下、融氷量とする)の関係を調べた。

## 2 実験方法

散布した尿素が氷の表面積に占める割合を調べるために、尿素1粒の粒径と質量を尿素100粒分計測し、それらの平均値を求めた。

尿素は楕円形であり、尿素1粒が氷と接する面積は0.0031 cm<sup>2</sup>、尿素1粒の質量は0.0037 gであった。

### 〈予備実験〉

尿素の融雪剤としての効果を調べるために予備実験を行った。

予備実験は先行研究<sup>(1)</sup>の方法を参考にした。純水100 gを入れた直径10.1 cmのプラスチック容器を冷凍庫に入れ、氷(表面積54 cm<sup>2</sup>、直径8.3 cm、高さ2.0 cm)を作った。尿素の散布量と融氷量の関係を調べるために、尿素をそれぞれ0.50 gから4.0 gまで0.50 gごとに氷の表面に散布した。このとき、氷の表面で尿素どうしが重なり合わないよう散布した(図1)。その後、一定の温度下で実験を行うために、氷を-2.0 °Cから0 °Cの範囲で保った冷凍庫内で1時間放置した。このとき、プラスチック容器内の水分の蒸発を防ぐため、蓋を被せた。

1時間後、容器から氷を取り出し、氷のまわりに付いた溶液をふき取った後、残った氷の質量を測り、融氷量を以下の式で求めた(図2)。

$$(融氷量) =$$

(もとの氷の質量) – (残った氷の質量)



図1 尿素4.0 gの散布の様子

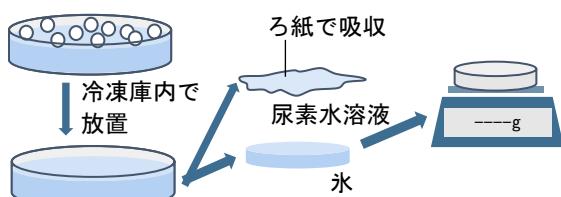


図2 実験方法〈予備実験〉

### 〈実験 I 〉

氷の表面に尿素を0.50 gから5.0 gまで0.50 gごとに散布した。その後、氷を-2.0 °Cから0 °Cに保った冷凍庫内で1時間放置した。1時間後、プラスチック容器内の氷を取り除き、プラスチック容器に残った尿素水溶液の質量を測り、融氷量を以下の式で求めた(図3)。

$$(融氷量) =$$

$$(融け出た溶液の質量) - (尿素の散布量)$$

ただし、実験後、尿素が完全に溶解せず、氷の表面に固体の尿素が残った場合は、上記の式で融氷量を正しく求めることができないため、データから除いた。

### 〈実験 II 〉

氷の表面に尿素を0.50 gから7.5 gまで0.50 gごとに散布した。その後、氷を-2.0 °Cから0 °Cに保った冷凍庫内で2時間放置した。その他は、実験 I と同様に実験を行った。

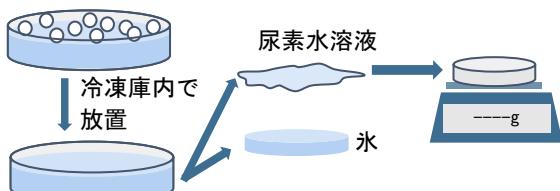


図3 実験方法〈実験 I, II〉

## 3 実験結果

### 〈予備実験〉

同じ尿素の質量での融氷量結果の最大値

(8.6 g)と最小値(4.6 g)の間に約2倍の差が見られた(図4)。

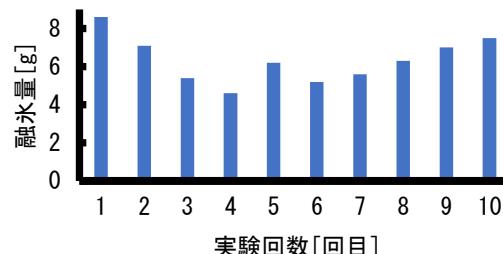
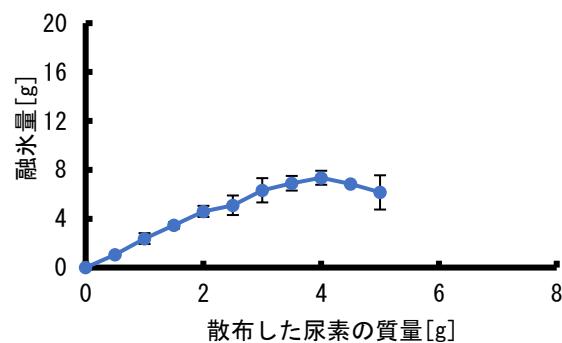
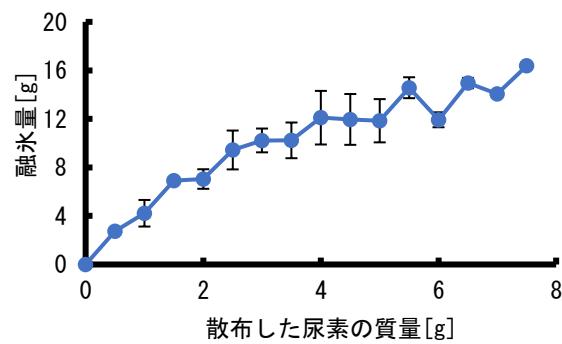


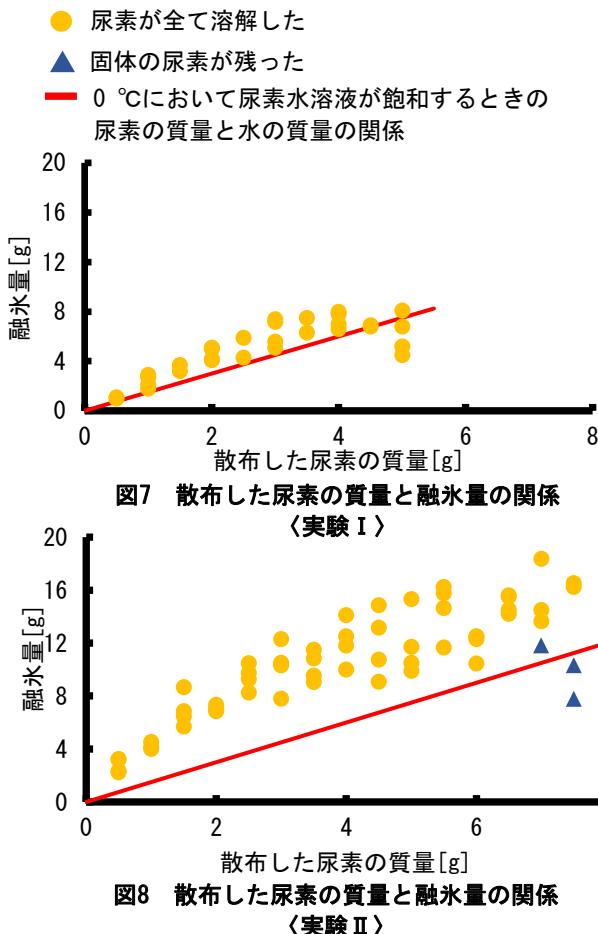
図4 尿素2.0 gのときの融氷量〈予備実験〉

### 〈実験 I, II 〉

実験 I, II の両方において、尿素の質量が4.0 g以下のとき、融氷量が増加する傾向が見られた。尿素4.0 g以上になると、融氷量は安定しなかった(図5, 6)。

図5 散布した尿素の質量と融氷量の関係  
〈実験 I 〉 (n=4)図6 散布した尿素の質量と融氷量の関係  
〈実験 II 〉 (n=4)

理論値以上に尿素が溶解したもの、逆に飽和水溶液になっていないのにもかかわらず、尿素が溶けずに残っているものがあった。また、図5, 6のグラフには含めていないが、尿素が溶解しきらなかったものもあった(図7, 8)。



#### 4 考察

実験 I で、尿素 4.0 g 以上で融冰量が増加しなかった理由として、1 時間では尿素が溶解してからの時間が十分ではなく、実験時間内では凝固点降下が進みきらず、融冰が進まなかつたことが考えられる。また、先行研究により、尿素は融雪効果を得るまでに時間がかかることが分かっている<sup>(2)</sup>。実験 II では、時間が十分に確保できたため、融冰量が増加したと考えられる。また、尿素が氷を融解させる様子を観察したところ、氷が鉛直方向に融解し、氷に穴が空いていた（図 9）。また、穴の直径は約 2.5 mm であった。ここから、融冰量が安定しなかった理由として、尿素 4.0 g 以上では、氷の表面積に対する尿素の量が多すぎたことが考えられる。尿素 4.0 g を散布すると、実験で用いた氷の表面積の 62 % が埋まることから、尿素の重なり合いや接触による相互作用が発生したこと、周囲

に尿素粒子がない状態に比べて反応速度が遅くなったものが存在したと考えられる。

また、溶解度の理論値に反して、尿素が溶けたり、水が十分にあるにも関わらず尿素が溶解しなかつたりしたものを結果に含めたことで結果が変動した可能性もある。

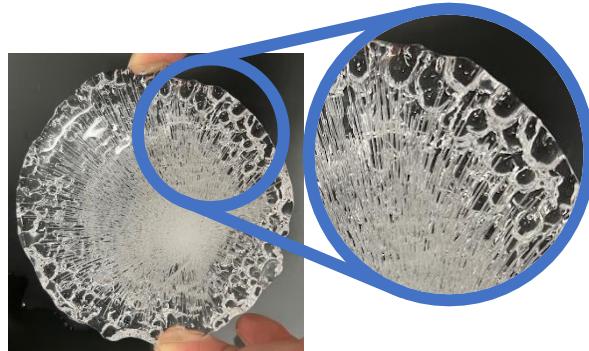


図 9 実験後の氷の様子

今回の実験では、氷 54 cm<sup>2</sup>当たり尿素を 4.0 g 散布したときに融冰量が最大になったことから、氷 1 m<sup>2</sup>に対しては尿素 734 g（物質量に換算すると 12.2 mol）を散布すると最適だと考えられる。

これを用いて今回得られた最適な散布量が妥当かどうかを、融雪剤としてもよく使われる塩化カルシウムの散布量と比較して検証する。

塩化カルシウムが水に溶解するとき、凝固点降下に加えて発熱反応も起こるが、塩化カルシウムの散布による融雪効果は凝固点降下のみによるものとされている。そのため、今回は溶解熱を考慮しなかった。

塩化カルシウム、尿素の融雪剤はともに、溶質が溶解したときの凝固点降下により氷を融解するとされている。そのため、凝固点降下の大きさを求めて融雪効果の大きさを知ることができる。一般に凝固点降下度  $\Delta t$  [K] は、モル凝固点降下  $K_f$  [mol/kg] を比例定数として質量モル濃度  $m$  [mol/kg] に比例する以下の式で求めることができる。

$$\Delta t = K_f m$$

塩化カルシウム  $m_1$  [mol] が溶解すると、塩化カルシウムは電離する。そのため、以下のようない凝固点降下度を計算できる。

$$\Delta t = K_f \cdot 3m_1$$

一方、尿素は電離しないため、 $m_2$  [mol] の尿素が溶解すると、以下のような凝固点降下度を計算できる。

$$\Delta t = K_f m_2$$

よって、等しい物質量の尿素と塩化カルシウムを溶解させたとき、凝固点降下度は塩化カルシウムが尿素に比べ、3倍大きくなる。そのため、塩化カルシウムと尿素を溶解させるとき、凝固点降下の大きさが等しくなる物質量比は(塩化カルシウム):(尿素)=1:3になると思われる。

塩化カルシウムは、氷1 m<sup>2</sup>あたり400 gから1000 g、これを物質量に換算すると3.60 molから9.01 mol散布するのが最適だと明らかになっている<sup>(3)</sup>。一方で、今回の実験で1時間放置したときに融氷量が最大になったのは、尿素4.0 gを散布したときだった。これを氷の表面積1 m<sup>2</sup>あたりの散布量に換算すると734 gとなる。これは12.2 molに相当する。これが上記で示した1:3の比率になっていたことから、今回の結果から得られる最適な尿素の散布量12.2 molは、その範囲内にあり、妥当だと考えられる。

しかし、2時間放置したときは、融氷量が安定せず、融氷量が最大になる尿素の質量は今回の実験では分からなかった。そのため、2時間放置したときの最適な散布量は不明である。

また、実際の屋外散布では、気温や積雪の状態によって最適な尿素の散布量は変化すると思われる。

## 5 結論

尿素融雪剤は、氷の表面積1 m<sup>2</sup>当たり尿素を734 g散布すると、安定した融雪効果が得られ、最適だと考えられる。同じ尿素の質量でも、経過時間が長いほど融雪効果は増大する。

## 6 謝辞

金沢大学太田明雄先生には、実験方法につい

て助言していただきました。深く感謝申し上げます。

## 7 参考文献

- (1) 寒地交通チーム. “非塩化物系の凍結防止剤の開発に関する研究”. 国立研究開発法人土木研究所. 2019.  
<https://www.pwri.go.jp/jpn/results/report/report-program/2017/pdf/pro-14-2.pdf>, (参照 2024-10-05)
- (2) 坂内 恒雄. “自動車工業における環境汚染対策 (2)融雪剤による錆劣化とその対策”. 表面技術, 1995, 46巻6号, p487-492. (参照2025-02-18)
- (3) 京都府向日市. “道路の凍結防止剤（塩化カルシウム）の配備について - 向日市”. 京都府向日市ホームページ. 2022.  
<https://www.city.muko.kyoto.jp/kurashi/kurasi/tochi/2/1608271436102.html>, (参照 2024-12-14)
- (4) 宮本修司, 佐藤圭洋, 徳永ロベルト. “凍結防止剤の室内凍結試験について”. 国立研究開発法人土木研究所. 2012.  
<https://thesis.ceri.go.jp/db/giken/h20giken/JiyuRonbun/fy-10.pdf>, (参照 2024-10-15)
- (5) 原口征人, 山下修一, 堀川弘善, 佐藤巖. “防氷剤の特性について”. 2017.  
<https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/ki/chou sei/PDF/07S1K.pdf>, (参照2024-12-05)
- (6) 国土技術政策総合研究所 道路環境研究室. “国土技術政策総合研究所 研究資料”. 国土技術政策総合研究所. 2007.  
<https://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0412pdf/ks0412007.pdf>, (参照 2024-12-14)

# 七尾高校所蔵ヤマイヌ剥製標本はニホンオオカミか

班員 北谷内結月 竹澤翔 山口色葉 山端美潤  
担当教諭 寺尾 知晃

キーワード：ヤマイヌ、ニホンオオカミ

To identify the species of the Yamainu taxidermy specimen, an examination of its external features, X-ray imaging, CT scanning, and DNA analysis were conducted. It is possible that the skin of the Yamainu taxidermy specimen is from a Japanese wolf.

## 1 はじめに

七尾高校に保存されている、ヤマイヌと呼ばれる剥製標本（以下本校剥製標本）（図1）について研究を行った。ヤマイヌは、明治時代に絶滅したニホンオオカミと、野犬の両方を指しているとされている。本校剥製標本にはラベルや作られた経緯に関する文献が存在せず、作成年や個体名が不明である。昭和49年に本校剥製標本の調査を専門家が行っており、外皮のみニホンオオカミで、頭骨はキツネである、といった見解や、犬であるという見解が示された。しかし、それぞれ根拠となっている外部形態の特徴が、その後の論文で否定されたものであるため、再調査が必要であると考えた。また、本校には、ニホンオオカミであると同定されている頭骨標本が保存されているため（図2）、本校剥製標本もニホンオオカミである可能性は十分あると考えている。

本校剥製標本の種の同定を目的として研究を行った。なお、ニホンオオカミの剥製標

本は、現在世界に6体しか存在しておらず、本校剥製標本がニホンオオカミであれば大きな発見となる。

本校剥製標本の種を同定するために、外部形態の検討、各部位の測定、レントゲン撮影、CT撮影、DNA解析を行った。



図1 本校所蔵ヤマイヌ標本



図2 本校所蔵ニホンオオカミ頭骨標本

表1 本校剥製標本の年表

年代	出来事
1939年（昭和14年）	清水氏が「ニホンオオカミ」ではないかと気づく
1969年（昭和44年）	清水氏が今泉氏に依頼したが「不明」
1974年（昭和49年）8月	西原氏が「ニホンオオカミ」と鑑定
1974年（昭和49年）11月	朝日氏が「イヌ」と鑑定
1974年（昭和49年）12月	朝日氏が「頭骨はキツネ、毛皮はニホンオオカミ」と再鑑定
1974年（昭和49年）12月	今泉氏が「キツネ」と鑑定

## 2 調査方法

### 〈調査1〉 外部形態の検討

ニホンオオカミの、耳が短い、背筋・前足に黒い毛がある、額段が浅いという特徴が、本校剥製標本の同一部位に当てはまっているかどうかを調査した。

### 〈調査2〉 各部位の測定

先行研究と同一部位の測定を行い、本校剥製標本の測定値と比較した。先行研究と同一の部位である、尾長、最大長、頭胴長、頭高、肩高、脛骨長、後足長、頭長、頭幅、胴長、耳介長、口長の測定を行った。そして、その値が既存標本の最小値－最大値の幅に当てはまっているかを検討した。

### 〈調査3〉 レントゲン撮影

骨の有無や最小値-最大値の幅に当てはまっていたのが胴長のみであった理由を調べるために、レントゲン撮影にて、剥製内部の調査を行った。

### 〈調査4〉 CT撮影

CT撮影にて、頭骨の立体的な形状の調査を行った。

### 〈調査5〉 DNA解析

1) すでに破損していた右後脚から1cm×1cmの皮膚片を採取し、タカラバイオ株式会社のNucleo Spin Tissueとその付属マニュアルを用いてDNA抽出を行った。

2) PCR法でDNA增幅を行った。プライマーとして、DNAが抽出されているかどうかを調べるための哺乳類のユニバーサルプライマーと、オオカミかどうかを調べるためのオオカミ用プライマーを用いた。（表2）実験は3回行った。1回目はC5、M2、2回目は、M2以外のすべてのプライマー、3回目はすべてのプライマーでPCR、電気泳動を行った。PCRのサイクル数は1、3回目が40サイクル、2回目が30サイクルで行った。

3) DNAが增幅されているかを確認するためにPCR産物を用いて電気泳動を行った。

表2 プライマー配列表

用いたプライマー	プライマーの配列	
CF1	5' ACACCCCTACATTCTATATTGA 3'	】C1
CR1	5' AATAAGTCAGCTACAAGTTATTG 3'	】C1
CF2	5' CCATGCATATAAGCATGTCAT 3'	】C2
CR2	5' CGTAGGTGAGTGATAGCAGAT 3'	】C2
CF3	5' AGTCCAATAAGGGCTTAATCA 3'	】C3
CR3	5' CATTGCGAGAATTAGTAGG 3'	】C3
CF4	5' CATGAAACTATACCTGGCATH 3'	】C4
CR4	5' AGTAACCCCCACGTTAGTATG 3'	】C4
CF5	5' CCCATGATCACACATAACTG 3'	】C5
CR5	5' GCCCTTATTGGACTAAAGTGAT 3'	】C5
CF6	5' CAACGGCACTAACTCTAACTT 3'	】C6
CR6	5' TTATATGCATGGGCAAACCA 3'	】C6
MaU16SFa	5' GACGAGAAGACCCCTATGGAGC 3'	】M1
MaU16SRa	5' TCCGAGGTCACCCCAAC 3'	】M1
MaU16SFg	5' GACGAGAAGACCCCTATGGAGC 3'	】M2
MaU16SRg	5' TCCGAGGTGCGCCCAACC 3'	】M2
MaU16SRIPSF	5' TTACCAAAACATCACCT 3'	】M3
MaU16SNRIPSRa	5' ATCCCTAGGGTAACCTGT 3'	】M3
MaU16SNRIPSRg	5' ATCCCTGGGTAACCTGT 3'	】M3

## 3 結果

### 〈調査1〉

本校剥製標本で同一部位を比較すると、背筋に淡い黒い毛、前脚に黒い毛がみられること、また、額額が浅いという特徴がニホンオオカミと一致していた。

本校剥製標本には、胴が細長く成形されている、尾の骨が露出している、足が変形しているという特徴がみられた。（図3）



図3 本校剥製標本の外部形態

### 〈調査2〉

既存標本の最小値－最大値の幅に当てはまっている部位は胴長のみであった。尾長、最大長は既存標本の最小値－最大値の幅を上回っており、頭胴長、頭高、肩高、脛骨長、後足長、頭長、頭幅、耳介長、口長は既存標本の最小値－最大値の幅を下回っていた。（表3）

表3 既存標本の最大値-最小値と本校剥製標本の測定値との比較

既存標本の測定値 (小森ほか2024)	七尾高校		
	最小値-最大値(mm)	n=個体数	大きさ(mm)
尾長	300-350	n=1	361
最大長	980	n=4	1126
頭胴長	820-914	n=1	751
頭高	530	n=5	352
肩高	405-525	n=1	266
脛骨長	190	n=2	82
後足長	157.5-230	n=1	86
頭長	260	n=1	174
頭幅	125	n=3	94
胴長	500-700	n=1	524
耳介長	105	n=1	68
口長	115	n=5	72

〈調査3〉

頭骨のみが確認された。胴には骨がなく、直径約5mmの針金で成形されていた。(図4)

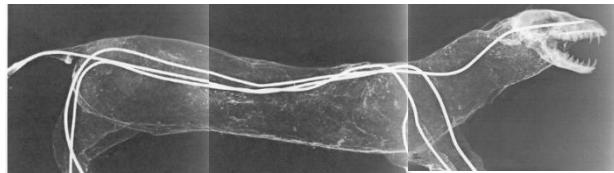


図4 本校剥製標本レントゲン画像

〈調査4〉

頭骨の形状は図5の通りであった。

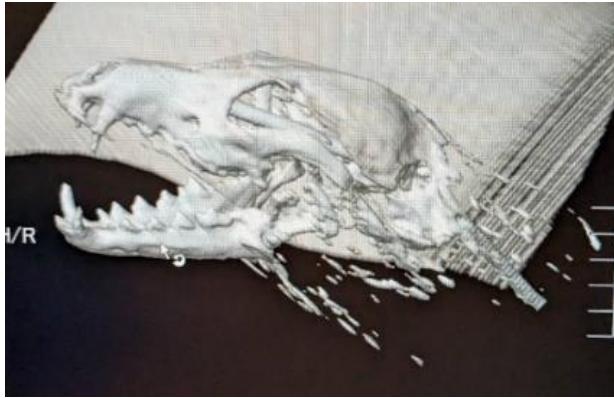


図5 本校剥製標本頭骨 CT 画像

〈調査5〉1回目ではC5ではDNAの増幅がわずかに認められ、M2でははっきりと確認された。2回目では、C2のみ増幅が確認された。(図6) 1回目で確認されたC5が確認されなかったのは、サイクル数が少なかったためだと考えられる。3回目ではC1、C2、C3、C4、C5、M1、M2のDNAの増幅が確認された。

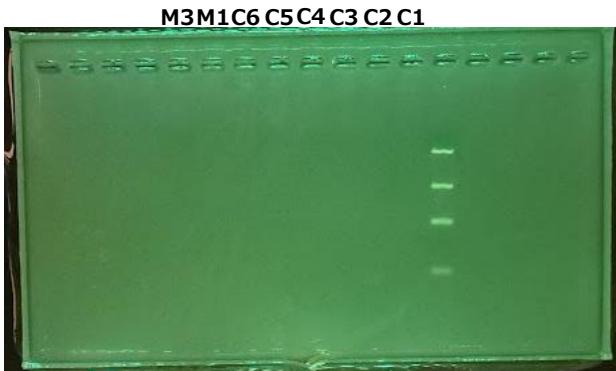


図6 電気泳動の結果 (2回目)

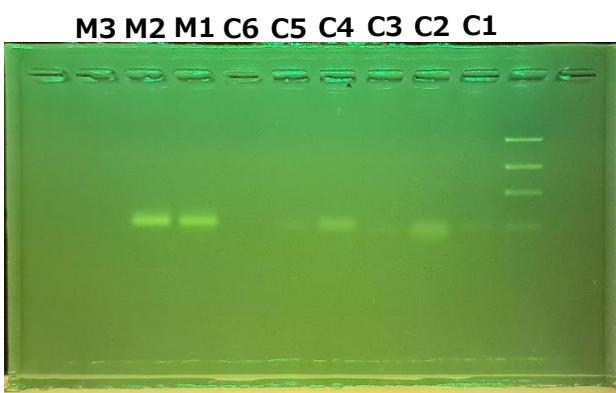


図7 電気泳動の結果 (3回目)

#### 4 考察

毛皮については、外部形態にニホンオオカミの特徴がみられたことから、ニホンオオカミである可能性がある。本校剥製標本の測定値が、既存標本の最小値-最大値の幅から外れていた原因として、剥製標本に頭部以外の骨がないため、元の形でなくなっていたことが考えられる。これは、剥製標本の制作時、作成者の意向が大きく影響されたことが理由だと考えられる。

頭骨については、形態とDNA解析によりキツネかどうか調べる必要があると考えられる。

#### 5 今後の展望

文献に記載されていた「頭骨がキツネである」という記述について、現在調査中であるため、今後引き続き詳しく調べていきたいと考えている。狐の頭骨の特徴を調べ、本校剥製標本の頭骨のCT画像との比較を行っていきたい。また、頭骨のDNA解析を行うことで、頭骨の種を同定したい。そして、シーケンスを行い、塩基配列を確認したいと考えている。

また、オオカミ用プライマーの有用性を検証するため、ネガティブコントロールとしてイヌのDNAと、ポジティブコントロールとして富山県ファミリーパークのシンリンオオカミのDNAを用いて、これらがオオカミ用プライマーによ

って増幅するかどうかを調べていきたいと考えている。

## 6 謝辞

山階鳥類研究所の小林さやか様、国立科学博物館の川田伸一郎様、小森日菜子様には研究の助言をいただきました。石川県立大学の中谷内修先生にはプライマーの提供とDNAの解析方法について教えていただきました。医療法人社団豊明会北村病院のみなさまにはレントゲン撮影とCT撮影にご協力いただきました。ありがとうございました。

## 7 参考文献

(1) 小森日菜子, 小林さやか, 川田伸一郎, 国立科学博物館所蔵ヤマイヌ剥製標本はニホンオオカミ *Canis lupus hodophilax*か, 国立科学博物館研究報告A類(動物学), 2024, vol. 1. 50, no. 1, p33-48.

(2) 吉田智洋, 遠藤秀紀, 九郎丸正道, 林良博, ニホンオオカミとイヌに関する頭骨形態の三次元的鑑定, 1999, vol. 39, no. 2, p. 239-246.

(3) 栗林勇太, 石黒直隆, ヤマイヌと呼ばれたイヌ科動物の上顎吻端部から見る長野県北安曇地方のヤマイヌ・オオカミ事情, 2022, vol. 7, p. 9-16.

(4) 清水幸忠, 要約ニホンオオカミ物語, 石川郷土史学会誌, 1974, 11月号

(5) 松村秀一, 石黒直隆, 寺井洋平, 本郷一美, オオカミやヤマイヌと呼ばれたシーボルトが残したニホンオオカミ標本の謎, 2021, vol. 74, p. 389-395.

(6) 北村直司, 小原巖, 南雅代, 中村俊夫, 熊本県八代郡泉村京丈山洞穴より産出したニホンオオカミ全身骨格, 1999, vol. 11, p. 35-69.

(7) 安部みき子, ホンドタヌキおよびホンドギツネの脊柱と胸郭, 哺乳動物学雑誌, 1983, vol. 9, no. 6, p. 314-321

(8) 杉原瑛治, ホンドギツネ (*Vulpes Vulpes japonicus*) の歯と下顎骨についての比較解剖学的研究, 九州歯会誌, 1985, vol. 39, no. 5, p. 565-587

(9) ニホンオオカミ騒ぎにケリ そっくりだが、犬です. 北國新聞, 1974-11-30

(10) 希少価値めぐる混乱 保存の七尾高校、処遇困惑. 北國新聞, 1974-12-18

# 粘着テープにおける 摩擦ルミネッセンスの発生条件について

班員 飯井 咲希恵、丹後 真緒、辻口 歩実、中田 聰音  
担当教諭 釜谷 智貴

キーワード：摩擦ルミネッセンス、摩擦発光、粘着テープ

We studied about Conditions in the occurrence of triboluminescence depending on the kinds of tapes used. The combinations which emitted light are the adhesive sides of cloth packing tape, the adhesive side of cloth packing tape and the non-adhesive side of PP tape, the adhesive side of cloth packing tape and the adhesive side of other tapes. So, the adhesive force is relate to whether the tape emits light. Also, I think the adhesive type relate to it because of difference of adhesive ingredients.

## 1 はじめに

物質を擦ったり割ったりして、外からエネルギーを与えると発光する現象を摩擦ルミネッセンスという。この現象は布ガムテープの粘着面同士を貼り合わせてはがすと見られる（図1）。エネルギーを与えることで物質は励起状態になり、基底状態に戻るためエネルギーを光として放出する現象である。



図1 テープによる発光の様子

先行研究では、加える力の大きさと発光強度の間に関係があることが分かっている<sup>(1)</sup>。しかし、摩擦ルミネッセンスの発生条件そのものは調べられていない。本研究では、粘着テープにおける摩擦ルミネッセンスの発生条件の解明を目的に実験を行った。

## 2 実験方法

実験では次の6種類のテープを用いた。布ガムテープ（（株）サンフレイムジャパン）、紙ガムテープ（（株）サンフレイムジャパン）、

セロハンテープ（ニチバン株式会社）、PPテープ（T.S企画）、ビニールテープ（（株）サンフレイムジャパン）、養生テープ（ニチバン株式会社）。

【実験1】貼り合わせたテープの一方を水平な面に固定し、水平方向に引っ張りはがした（図2）。テープはすべて幅2cm、長さ15cmの帶に切りそろえた。下記の条件でそれぞれ10回ずつ試行を行った。



図2 実験の様子

はがす際、テープに加わる力の大きさを力センサー（PASCO）で測り、SPARKvueで記録した。実験の後、エクセルを用いてテープに加わる力の大きさの平均値を計算した。また、発光の有無を目視とiPadで撮影した動画で判断した。

実験1-1 発光するテープを見つけるために、同種のテープの粘着面同士を貼ってはがした。

実験1-2 はがす際のテープの伸びを防ぐために、テープを下敷きに貼ってはがした。

実験1-3 非粘着面にテープを貼ったと

きの発光を調べるために、布ガムテープの粘着面を他のテープの非粘着面に貼ってはがした。

実験1-4 粘着力を発光の関係を調べるために、布ガムテープの粘着面と他のテープの粘着面を貼ってはがした。

【実験2】テープの表面の様子を詳しく調べるために、走査型電子顕微鏡を用いて、テープの粘着面の様子を観察した。

【実験3】発光に影響する物質を特定するため、走査型電子顕微鏡を用いて、テープの粘着面の元素分析を行った。この実験では、PPテープ、紙ガムテープ、布ガムテープの3つのみを調べた。

【実験4】基材の繊維の方向（縦横）と発光の有無の関係、つまり発光における基材の影響を調べるために、テープ片を縦、横方向にちぎった（図3）。この実験では、布ガムテープ、紙ガムテープ、養生テープの3つのみを調べた。

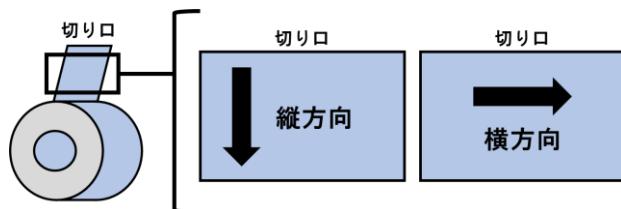


図3 縦横のイメージ

### 3 結果

【実験1】布ガムテープの粘着面同士、布ガムテープの粘着面と他テープの粘着面、布ガムテープの粘着面とPPテープの非粘着面が発光した（表1）。

表1 実験の結果

	布	紙	PP	ビニール	養生	セロハン
実験1-1	○	×	×	×	×	×
実験1-2	×	×	×	×	×	×
実験1-3	×	×	○	×	×	×
実験1-4	○	○	○	○	○	○

発光した場合に加えた力の大きさは、最小8.6 N（布ガムテープの粘着面とPPテープの非粘着面）、最大19 N（布ガムテープの粘着面同

士）であり、発光しなかった場合は最小0.9 N（布ガムテープの粘着面と紙ガムテープ非粘着面）、最大13.8 N（養生テープの粘着面同士）だった（図4-7）。テープに加えられた力の大きさが8.6 Nを超えて発光しない場合（セロハンテープの粘着面同士、ビニールテープの粘着面同士、養生テープの粘着面同士、下敷きとPPテープ）もあった。

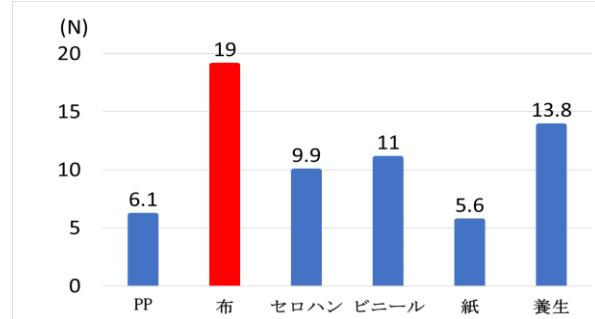
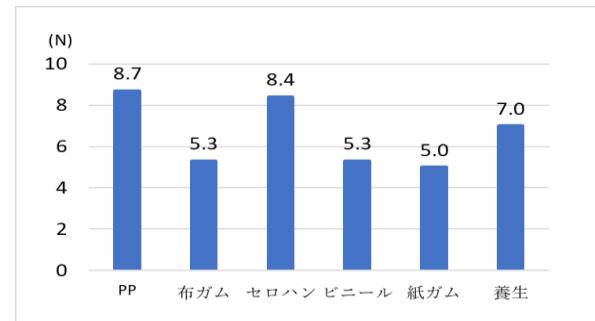
図4 実験1-1でテープに加えた力の平均値  
(赤色は発光した組み合わせ)

図5 実験1-2でテープに加えた力の平均値

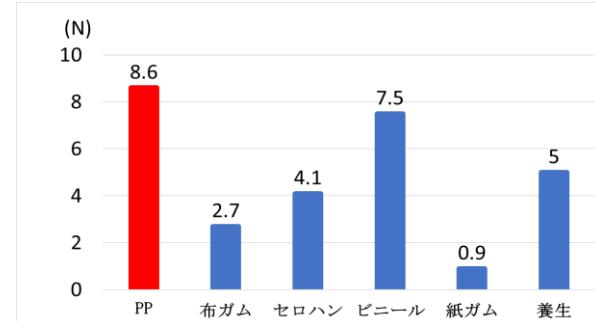


図6 実験1-3でテープに加えた力の平均値

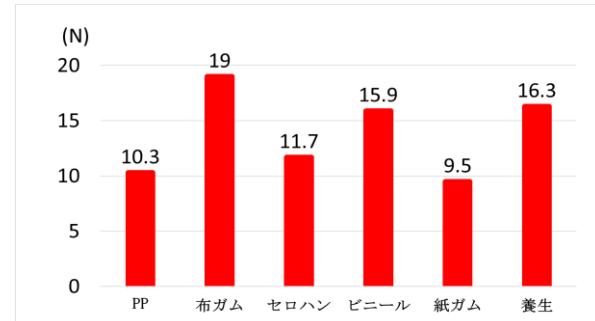


図7 実験1-4でテープに加えた力の平均値

【実験2】それぞれ90、1000、5000倍で撮影を行った。この実験においては電子顕微鏡内で与えられる電子の影響を考慮していない。布ガムテープには白い斑点のようなものが観察できた（図8）。また、紙ガムテープには穴のようなものが多くみられた（図9）。他の4種のテープにはほとんど違いがみられなかつた（図10-13）。PPテープにおいて、電子顕微鏡が射出する電子によると思われる四角い跡がみられた（図14）。

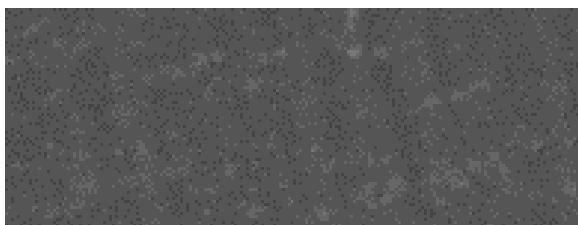


図8 布ガムテープ粘着面の表面の様子  
(倍率は全て1000倍)



図9 紙ガムテープ粘着面の表面の様子

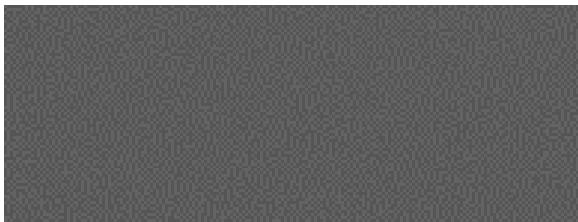


図10 PPテープ粘着面の表面の様子

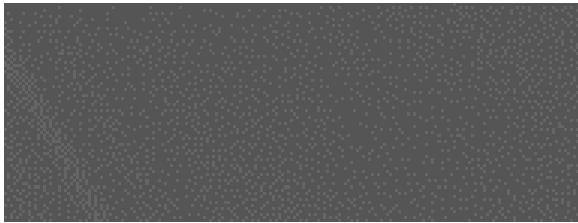


図11 ビニールテープ粘着面の表面の様子

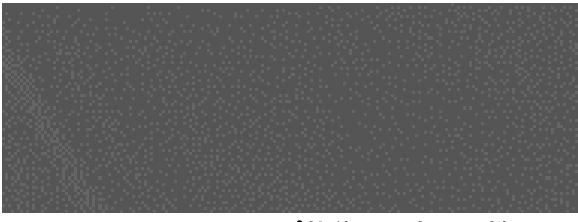


図12 ゼロハンテープ粘着面の表面の様子



図13 養生テープ粘着面の表面の様子



図14 PPテープ表面にみられた四角い跡

【実験3】3種類のテープすべてで炭素が最も多く見られた。布ガムテープの白い斑点にはCaとOが多く見られた（図15-18）。

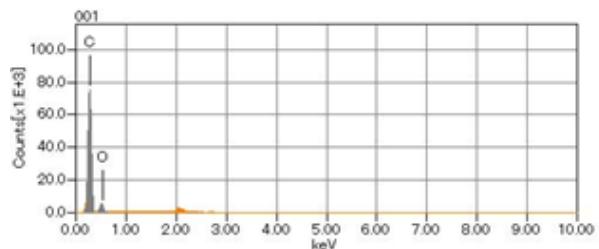


図15 PPテープの元素分析

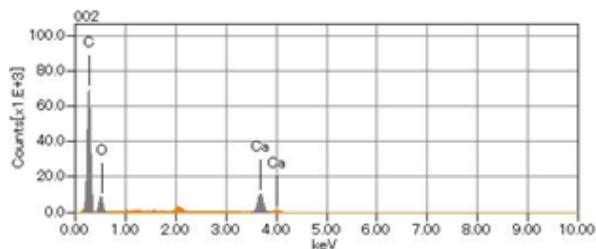


図16 紙ガムテープの元素分析

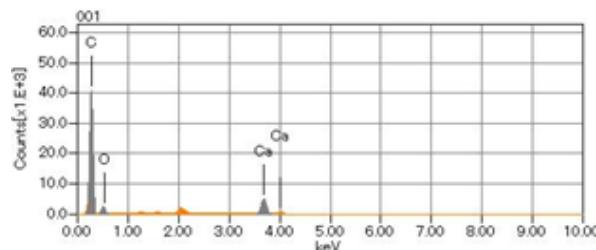


図17 布ガムテープの元素分析

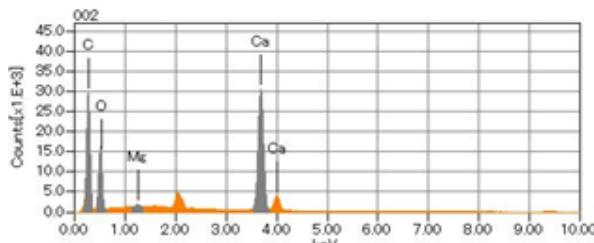


図18 布ガムテープの白い斑点部分の元素分析

【実験4】布ガムテープにおいて、縦横の方向いずれにおいても発光したものと発光しなかったものの割合はおよそ半分ほどであった。他2種においては発光がみられなかった。

#### 4 考察

実験1の結果から、発光の有無はテープに加えた力が関係していると思われる。しかし、加えた力が8.6N(発光した組み合わせに加えられた力の最小値)を超えたにもかかわらず発光しなかった組み合わせがある(セロハンテープ粘着面同士、ビニールテープ粘着面同士、養生テープ粘着面同士、下敷きとPPテープ)。このことから、発光の有無にはテープに加わる力の大きさ以外の原因があると考えられる。具体的には、テープの基材や粘着面の表面の様子、粘着剤の成分の違いなどが考えられる。

実験2より、テープの表面の様子による明確なグループ分けはできなかったため、現段階では粘着面の表面の様子が発光の有無に及ぼす影響は不明である。

実験3より、実験に用いたテープはすべて有機物である。また、布ガムテープにPPテープ、紙ガムテープと比べCaとOが多くみられたことから、炭酸カルシウムまたは酸化カルシウムが含まれている可能性がある。カルシウムの第一イオン化エネルギーは、炭素の約1/2の大きさである。ここからカルシウムは電子が励起されやすいとすると、カルシウムを含む布ガムテープは発光が起こりやすいと考えられる。

実験4より、テープ同士を貼り合わせることなく発光が起こったテープが存在したため、実験1において基材と粘着剤の分離によりエネ

ルギーが発生していた可能性は低いと考えられる。また、実験の結果より縦横いずれの方向にちぎった際も発光の有無の割合はほとんど変化が見られなかった。これらのことから、発光の有無には粘着剤が主に影響していると考えられる。

#### 5 結論

粘着テープにおける摩擦ルミネッセンスの発生条件には、加わる力の大きさと他の条件がある。具体的にはテープごとの粘着面の表面の様子、また粘着剤の成分の違いなどが考えられる。発光しやすい布ガムテープでは、カルシウムが含まれていた。

#### 6 今後の展望

実験1でのテープの種類を増やしたいと考えている。また、実験3において養生テープ、セロハンテープ、ビニールテープでも元素分析を行いたい。さらに、大きい力が加えられても発光しない養生、セロハン、ビニールテープの粘着面にカルシウムを塗布し、発光するかどうか調査する予定である。発光の際に電気が発生するかどうかも調査したい。

#### 7 謝辞

本研究において、走査型電子顕微鏡をお貸していただき、また実験について助言をくださった金沢大学のロバート・ジェンキンズ先生に感謝申し上げます。

#### 8 参考文献

- (1) 愛知県岡崎高校, 摩擦ルミネッセンスの研究, 応用物理学会SC東海学術講演会, 2014
- (2) 山崎義弘, 2016, テープをはがして、考える—「粘着の物理」に向けてー, 日本物理学会誌, Vol. 71, No. 5, p. 318~322

# 対峙培養法におけるヒラタケとカビの成長範囲変化

班員 奥原 世梨、清水 茉優、延田 考聰、本多 正樹  
担当教諭 谷野 智了

キーワード：PDA培地、対峙培養法、帶線

Mold can grow during the mushroom cultivation process and be discarded. Therefore, in order to clarify the interaction between edible mushrooms and molds that grow on food, in this study, we discussed the survival strategies of black mold, blue mold, and oyster mushrooms by using a dual culture method. Mycelial extension of the oyster mushrooms was reduced after contact with black mold, and growth was stopped after contact with blue mold.

## 1 はじめに

地球上に存在する菌類は510万種以上と推定されているが<sup>[1]</sup>、菌類研究が進んでいるヨーロッパでも2000種程度しか知られていない<sup>[2]</sup>。菌類の本体は菌糸で構成されており、菌糸体と呼ばれている。我々が肉眼で確認することができる子実体（きのこ）も菌糸が集まって構成され、菌類は子実体を利用して次世代の子孫を残すための胞子を散布する（図1）。同じ枯れ木内において、複数種の菌類が入り込むことで、「帶線」と呼ばれる模様が観察されることがある（図2）。これは枯れ木内部に各菌類がコロニーを形成し、資源を他種に利用されないように確保するため”バリア”的な役割を担っている。しかし、これらの菌類がどのような条件のときに帶線を形成するのかはよく分かっておらず、このような帶線をはじめとした各菌類間の相互作用は、510万種以上存在する菌類の中で、わずか数十種類の組合せでしか調べられていない<sup>[3]</sup>。また、私たちが行ったハイネファーム（石川県かほく市でキクラゲとヒラタケを栽培している農家）への調査から、食用キノコにもまれにカビがついてしまい、廃棄しなければならないということがわかった。カビも食用キノコと同様に真菌類に属していることから両者の相互作用について調べることはこれからキノコ栽培において有用な情報を提供できるのではないかと考えた。そこで、

本研究では、菌糸成長の早いヒラタケと食品につきやすいクロカビ・アオカビ間の相互作用を明らかにすることを最終的な目標として、「対峙培養法」という古典的手法で各種の菌糸体の成長を培地上で観察した。

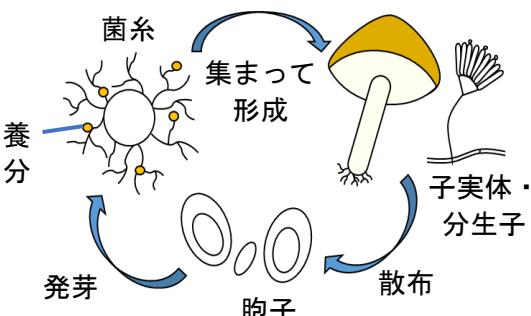


図1 菌類のライフサイクル

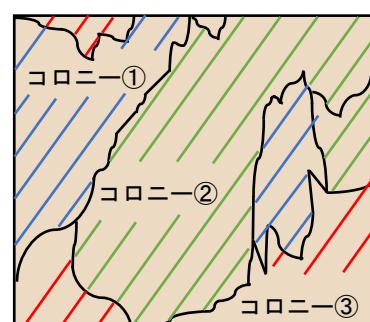


図2 枯れ木内の菌糸の陣地イメージ

## 2 材料と方法

### ○材料

ヒラタケ (*Pleurotus ostreatus*)

クロカビ (*Aspergillus* sp)

アオカビ (*Penicillium* sp)

## ○方法

PDA寒天培地（メルク社製）を作成し、寒天培地の中心から1cmずつ離した位置にヒラタケとクロカビ、ヒラタケとアオカビの菌糸片といった組み合わせで植菌した（図3）。この方法は「対峙培養法」といい、2種の菌類間の相互作用を実験室内でも簡便に観察できる方法である<sup>[3]</sup>。温度27度、湿度95%下でヒラタケ・クロカビは11日間、ヒラタケ・アオカビは15日間インキュベーター内で培養を行った。

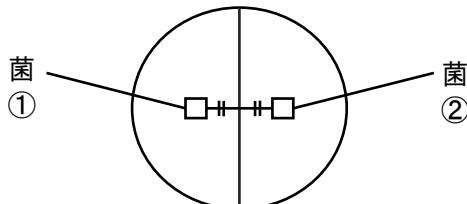


図3 対峙培養法

また、本研究では、培養皿の写真撮影を行い、画像解析ソフト「ImageJ」を用いて菌糸体の成長範囲の面積を測定し、定量的な解析も行った。

## 3 結果

## ○ヒラタケ vs クロカビの実験

ヒラタケは3日目まで菌糸体を拡大したが、クロカビは8日目まで菌糸体を拡大し、その後は両種ともほぼ菌糸体が成長しなかった（図4）。また、クロカビはヒラタケよりも菌糸体拡大が速かった。さらに、クロカビの菌糸体はヒラタケの菌糸体に上から覆い被さるように成長する様子のみ見られた（図6）。

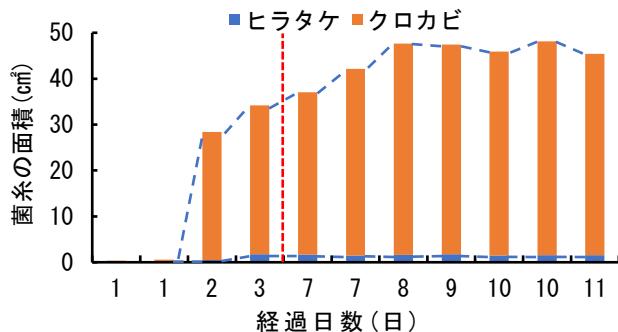


図4 ヒラタケvsクロカビの培地の各菌糸の面積



図5 1日目のヒラタケ vs クロカビ

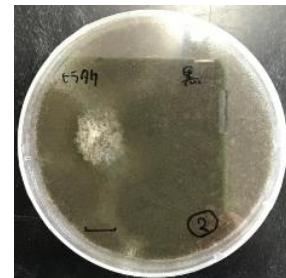


図6 11日目のヒラタケ vs クロカビ

## ○ヒラタケ vs アオカビの実験

ヒラタケとアオカビとともに11日目まで菌糸体を拡大し、両種とも同じ時期に成長が止まった（図7）。アオカビの菌糸はヒラタケの菌糸体に接した部分、もしくは少し離れたところで両種とも成長が止まっている様子（図9）が見られた。また、クロカビほどではないものの一部、ヒラタケの上にアオカビが覆いかぶさっている箇所も確認できた（図10）。

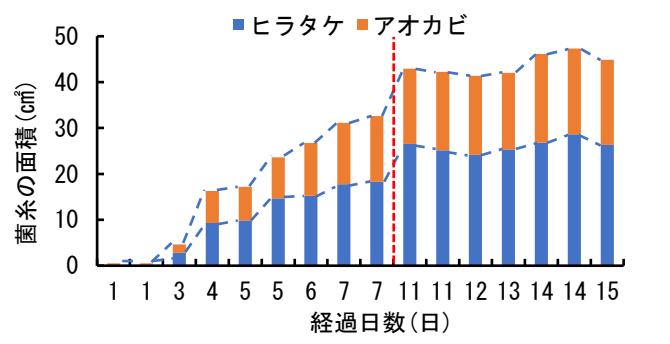


図7 ヒラタケ vs アオカビの培地の各菌糸の面積



図8 1日目のヒラタケ vs アオカビ



図9 15日目のヒラタケ vs アオカビ

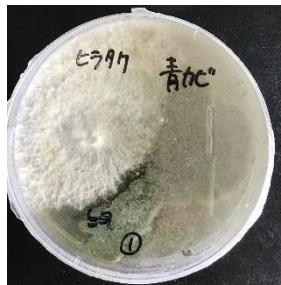


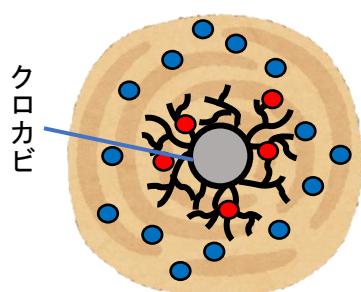
図10 覆いかぶさった培地

#### 4 考察

本研究により、対峙培養法によって各菌類の森林生態系内における生存戦略が培地上で再現できていると考えられる。

##### ○クロカビの生存戦略について

クロカビは増殖が速く、菌糸体をいち早く伸ばして資源を確保していることが示唆される。クロカビは正式にはアスペルギルス属という森林内の土壤中に生息する糸状菌のグループに属している<sup>[4]</sup>。森林内で、土壤から新しい倒木や枯れ木内、落葉といった資源に素早く侵入して、比較的利用しやすい資源を利用する生存戦略をとっていることが考えられる（図11）。



- 利用しやすい資源…師管液
- 利用しにくい資源…リグニン・多糖類

図11 クロカビの生存戦略

##### ○アオカビの生存戦略について

アオカビはクロカビに比べて増殖は速くないが、ヒラタケとアオカビの両種の成長が止まっている様子が見られたことから何らかの化学物質を使って他種の菌糸体成長を抑制している可能性が考えられる（図12）。アオカビは過去に細菌相手にペニシリンという抗生物質を生産することが知られていることからも<sup>[5]</sup>、何らかの化学物質を用いて他種と資源獲得競争を行っている可能性が考えられる。

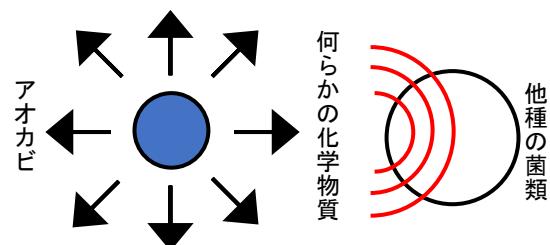
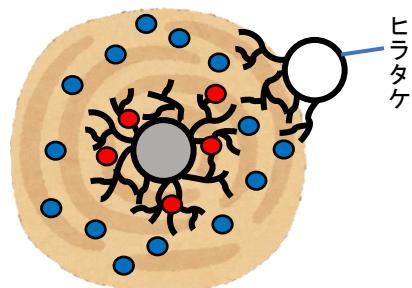


図12 アオカビの生存戦略

##### ○ヒラタケの生存戦略について

ヒラタケは木材内における最も難分解性のリグニンを分解できる白色腐朽菌というグループに属している<sup>[4]</sup>。これらのグループは倒木や枯れ木内でカビなどが利用しやすい資源を利用しつくした後に定着し、残りの資源を利用しきる生存戦略をとっていると考えられている。ただし、本研究で培地に用いられていたPDA培地は菌類全般にとって利用しやすい資源であることから、素早く資源の確保できるカビ類にとって有利な環境であった可能性が考えられる（図13）ため、今後詳しく調べる必要がある。



- 利用しやすい資源…師管液
- 利用しにくい資源…リグニン・多糖類

図13 ヒラタケの生存戦略

まとめると、クロカビは資源をいち早く獲得し利用しやすい資源を他種よりも早く利用する生存戦略、アオカビは何らかの化学物質を用いて他種の成長を抑制しながら資源を確保する生存戦略、ヒラタケはクロカビなどの種が利用できない難分解性の資源を利用する生存戦略をそれぞれとっていると考えられる。また、ヒラタケとクロカビの生存戦略の間にトレードオフの関係にある可能性を考えている（図14）。ヒラタケはどのような環境下でカビ類より有利に菌糸体を成長できるのか今後もより詳しく調べていくことで、森林生態系内におけるキノコ類とカビ類のトレード・オフ関係が明らかになっていくだけでなく、キノコ栽培における新たな菌床の原料や栽培方法の開発の一助になるのではないかと期待している。



図14 トレードオフの関係

## 5 今後の展望

以下の3つの実験を行いたいと考えている。

### ○単離培養実験

ヒラタケ、クロカビ、アオカビ各種の菌糸体の成長速度を明らかにすることを目的として行う予定である。他種が存在する対峙培養の結果と比較することで、各種がどのくらい相互作用の影響を受けているのか検証することができると考えている。

### ○温度を変更した対峙培養実験

ハイネファームへの調査の中で、ヒラタケ栽培は10°Cから15°C程度が適温であることを教えていただいた。本研究は真菌類全般が成長しやすい27°Cで実験を行ったが、ヒラタケに有利だと考えられる10°Cから15°Cでもう一度検証する必要があると考えている。

### ○基質を変更した対峙培養法

本研究で用いたPDA培地（メルク社製）は本来真菌類全般の培養を効率的に行うための培地である。成分にグルコースなど比較的早く代謝できる物質が含まれており、これが増殖速度の速いクロカビ

に有利に働いたのではないかと考えられる。したがって、今後はブナ材やトウヒ材といった木材を粉末化して作成した培地で同じような対峙培養実験を行っていきたいと考えている。

## 6 謝辞

本研究にあたってはハイネファーム様の菌床の提供・助言等、大変お世話になりました。厚く御礼を申し上げます。

## 7 参考文献

- [1] O'Brient HE, Parrent JL, Jackson JA, et al. (2005) Fungal community analysis by large-scale sequencing of environmental samples. Applied and Environmental Microbiology 71: 5544-5550.
- [2] Stokland JN, Siitonen J, Jonsson BG (2012) Biodiversity in dead wood. Cambridge University Press, Cambridge.
- [3] Boddy L, Hiscox J (2016) Fungal ecology: Principles and mechanisms of colonization and competition by saprotrophic fungi. Microbiology Spectrum 4(6):FUNK-0019-2016.
- [4] Hibbett DS, Binder M, Bischoff JF, et al. (2007) A higher-level phylogenetic classification of the fungi. Mycological Research 111: 509-547
- [5] Alexander Fleming, (1945) Penicillin-its discovery, development, and uses in the field of medicine and surgery. The Journal of the Royal Institute of Public Health and Hygiene Vol 8: 36-49

# 地盤内の水を減らすことによる液状化の防ぎ方

班員 楠 翔介 高木 裕太朗 坊城 真智 森田 隆太郎  
担当教諭 山本 一博

キーワード：液状化現象、珪藻土、吸水性ポリマー、地盤改良

Polymer and diatomaceous earth can prevent liquefaction, and experiments with polymer showed that liquefaction can be prevented by reducing water by 30 ml. Therefore, liquefaction can be prevented by reducing water in the ground, and liquefaction is considered to occur when the percentage of water in the ground is 25% or more.

## 1 はじめに

2024年の能登半島地震では、石川県内灘町や新潟県新潟市など各地で液状化が発生した。



図1 能登半島地震の被害の様子

その被害を目にして現在の液状化対策を調べてみたところ、工事費が高く(80~1000万)、工事期間も長いことがわかった。そこで、本研究ではそれらの問題点を解決する新たな地盤改良方法を開発することを目的とした。実験を行うにあたり、担当教諭の山本先生に助言をいただき吸水性があり能登半島に多く分布する珪藻土、少量で多くの水を吸収できる吸水性ポリマー(ポリアクリル酸ナトリウム)を使用した。珪藻土とは、植物性プランクトンの殻が硬く積み重なったものである。特徴としては、0.1~1μmの孔がある多孔質であるため、水を吸収することができる。吸水性ポリマーは、網目状の構造をしており、その網目に自重の200~1000倍の水を吸収することができる。本実験では、珪藻土は株洲市のもの、吸水性ポリマーは子ども用オムツに入っているものを使用した。

## 液状化現象とは

通常の状態の地盤は、砂などの粒子同士が地盤が地震で揺れることで、砂の粒同士の結合がゆるみ地下の水が溢れ、地盤が下がることで水が地盤の表面に現れる現象である。

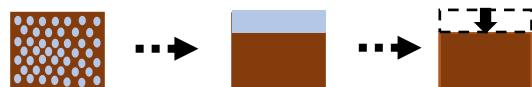


図2 液状化現象の様子

## 2 実験方法

本研究では、砂の表面に水が現れることを液状化と定義した。

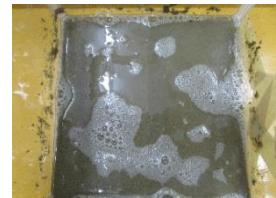


図3 本実験での液状化の様子

また11m四方、深さ2.75mの砂地盤を55分の一に縮小したモデルを元に実験を行った。

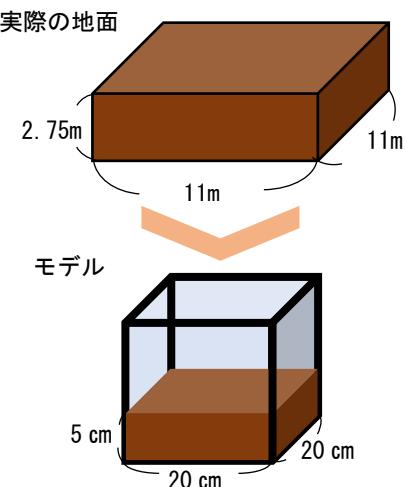


図4 本実験で使用するモデルのスケーリング

## 予備実験

縦横高さ 20cm の水槽に 2400g の砂を 5cm の高さまで入れ、800g の水を加えた。参考文献(1)より巨大地震の振幅は 2~3m であることがわかったため、本実験では振幅が 2.45m と想定し、55 分の 1 にスケーリングすることでモデル実験の振幅を 4.5 cm とした。水槽を板の上に置き、板の端が印の位置に重なったときに 1 回とカウントし、1 分間の回数を計測した。震度 5 強を想定して、板上には iPad を置き、加速度計測アプリ (Sonic Tool) を用いて加速度を計測した。そこで加速度が 200gal になるよう調整し、1 分間に 150 回振動すると 200gal となることがわかった。このあとの実験は全てメトロノームの音に合わせて手動で板を振動させている。

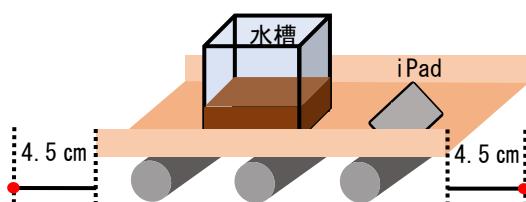


図 5 実験の模式図



図 6 実験器具の様子

## 吸水性ポリマーの最大吸水量

本実験では吸水性ポリマー 10g に 100mL ずつ水を入れて攪拌を続けると、2800mL まで吸収した。吸収できる水の最大量を 2700mL とし、吸水性ポリマー 1g が吸収できる水の最大量を 270mL とした。



図 7 10g の吸水性ポリマーに 2700mL の水を加えた様子

## 実験 1

総重量が 2400g になるように調整しつつ、珪藻土の量が 0g、100g、200g の 3 つの条件で混合し、水槽を振動させた。



図 8 実験 1 の方法

## 実験 2

総重量が 2400g になるように調整しつつ、吸水性ポリマーの量が 0g、1g、2g の 3 つの条件で混合し、水槽を混合させた。また追加で吸水性ポリマーが 0.1g、0.50g、0.75g の条件でも実験を行っている。

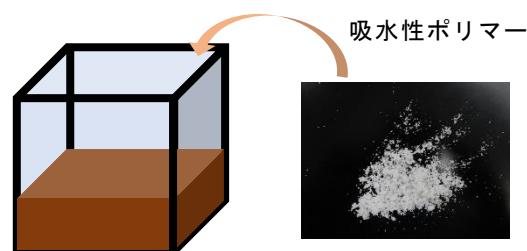


図 9 実験 2 の方法

## 3 実験結果

### 実験 1

珪藻土を 100g 入れた条件では液状化はおこったが、200g 入れた条件では液状化は起こらなかった。



図 10 珪藻土 200g

表 1 珪藻土の結果

珪藻土	0g	100g	200g
	×	×	●

※ 液状化した ● 液状化しない

## 実験2

ポリマーを1g加え振動させたとき、液状化は起こらなかった。ポリマー2gを加え、振動させたときも、液状化は起こらなかった。そこでポリマーの量をさらに減らして実験を行った。すると0.1gでも液状化を止めることができた。



図11 吸水性ポリマー0.1gを入れて混合させたときの様子

表2 ポリマーを入れた量と液状化の発生の有無

ポリマー	0g	1g	2g
×	●	●	
ポリマー	0.10g	0.50g	0.75g
●	●	●	

+ 液状化した ● 液状化しない

## 4 実験3 砂と水の総量と水の割合による液状化発生の有無

### 方法

実験2より吸水性ポリマーは0.1gでも液状化を防ぐことができることが分かった。つまり水800mLのうち、27mL吸水することで液状化を防ぐことができる。そこで砂2400gに750mL加えて振動させ、800mL入れたときと比較した。

## 結果

水800mLでは液状化は起き、水750mLでは液状化は起きなかった。そのため本実験の条件において地盤に対して水の占める質量の割合が25%以上のとき液状化は起きるとわかった。

## 5 実験4 実際の工事での現実的な地盤改良方法の考案

実際のスケールで地盤改良を行う際、本実験の方法のように土を混ぜることは大変である。そのため、地盤に穴をあけて液状化を防ぐ方法について実験した。

## 方法

地盤に直径0.5cmの穴をストローであけ、その中に吸水性ポリマー合計で1g、0.1gを入れた。最初は、地盤の中心に1つ穴をあけ、穴の数を1、4、9個と穴をあけた。

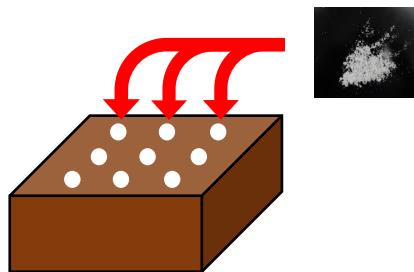


図12 実際の工事を想定した地盤改良法

## 結果

表3 ポリマー1gを入れたときの穴の数と液状化の発生の有無

穴の数	1個	4個	9個
●	●	●	●

表4 ポリマー0.1gを入れたときの穴の数と液状化の発生の有無

穴の数	1個	4個	9個
×	×	×	×

+ 液状化した ● 液状化しない

## 6 考察

地盤に対して、水を 25%以上加えると液状化は起き、加える量が 25%未満では液状化は起きなかった。そのため地盤に対して水が 25%未満の状態にすれば、液状化を防ぐことができると考えた。

### 実験 1 にかかる費用

珪藻土、吸水性ポリマーの場合のいずれも 1 m<sup>3</sup>当たり 1.2 トンの砂を使用している。実際のスケールで液状化を止めるには、珪藻土は 16.4 トンが必要である。また、珪藻土は 1 kg で 600 円掛かるため 1000 万円ほどの費用が掛かると考えられる。

### 実験 2 にかかる費用

実際のスケールで液状化を止めるには、ポリアクリル酸ナトリウムは 0.016 トンが必要である。また、吸水性ポリマーは 1kg で 6500 円掛かるため 10 万円ほどの費用が掛かると考えられる。

### 本研究と現状の地盤改良法との比較

吸水性ポリマーを利用して地盤改良をする場合、地盤に少量混入するだけで液状化を止めることができる。吸水性ポリマーは珪藻土に比べ吸水量が多いため、工事費用が安く済むと考えられる。それに対して、現状の地盤改良法であるセメントで地盤内に支柱を作る柱状改良工法、地盤にモルタルを注入して地盤内の密度を高める方法などでは、費用は 80 万～1000 万円ほどかかり、工事の期間は 1～10 週間ほどかかる。このように、費用と手間、期間の面から吸水性ポリマーを地盤に混入させる方法は新たな地盤改良法として有効であると考えられる。

表 5 費用と質量の比較

	珪藻土	ポリマー	現在の方法
費用	1000 万円	10 万円	80～1000 万円
質量	16.4 トン	0.016 トン	-

## 7 今後の課題

費用計算の面では珪藻土があまり売られてなく、

壁材としての金額で計算したが、実際は山で掘れるため、より精密な計算が必要であると考えている。また、能登地方の地盤は珪藻土であることが多く、珪藻土の割合が高いときは逆に液状化が起きやすいのではないかを調べていきたい。

実験 2 でポリマーが 0.1g の時液状化を防げていたにもかかわらず実験 4 で防げなかつたため、これから実験では適切な穴の数や混合するポリマーの量を調べていきたい。

また、実際に液状化現象が起こる場所は、常に水が流れてきているような地形であることが多いと分かったため、その状況を再現したモデル実験をしたい。

## 8 参考文献

- (1) 国立研究開発法人防災科学技術研究所. “9.1 地震計の原理.” 防災科研. [https://www.hinet.bosai.go.jp/about\\_earthquake/sec9.1.html](https://www.hinet.bosai.go.jp/about_earthquake/sec9.1.html), (2024-08-23).
- (2) 菅沼史. “戸建て住宅を建てるとき、敷地は何坪くらい必要？平均は？.” コーセーホーム. 2023-05-01. <https://kosei-house.co.jp/blog/7142>, (2024-08-20).
- (3) 北陸地方整備局企画部企画課. “液状化 Q&A.” 国土交通省北陸地方整備局. <https://www.hrr.mlit.go.jp/ekijoka/toyama/Q&A.pdf>, (2024-09-04).
- (4) 埼玉県. “建築物の液状化対策について.” 埼玉県. <https://www.pref.saitama.lg.jp/a1106/ekijyouka-taisaku.html>, (2024-10-16).
- (5) 近畿壁材工業. “珪藻土 珪藻土壁やバスマットの原料に使われる原料、珪藻土そのものをパウダー状に粉碎し 10kg 袋で販売.” 近畿壁材. [https://www.kinkikabekai.com/products/tuchikabe/p\\_tuchikabe-16454/](https://www.kinkikabekai.com/products/tuchikabe/p_tuchikabe-16454/), (2024-10-16).
- (6) 能登珪藻土研究会. “能登はほとんどが珪藻土.” 能登珪藻土研究会. <http://www.noto.or.jp/index.php>, (2024-11-13)

# シャトルの壊れ具合と運動の関係

班員 梶 はじめ、曾原 楓雅、文村 竜也、堀江 重晟  
担当教諭 北原 点

キーワード：シャトル、壊れ具合、落下地点、回転数、揚力

Five types of badminton shuttlecocks with varying feather damage were dropped from a height, and their landing spots recorded. Shuttlecocks with more missing feathers showed greater variation in landing spots and spun more than new ones, likely due to gaps allowing air to flow in, generating lift and increasing spin, while making movement more unstable.

## 1. はじめに

バドミントンのシャトルは羽根が壊れると新品のシャトルに比べて運動が変化し、狙った位置に着地させ辛くなる。シャトルの運動に関する先行研究はいくつか存在するが、壊れ具合とシャトルの運動の関係についての研究はあまり存在しない。そこで、本研究を通してバドミントンシャトルの物理学に新たな視点を持ち込むことを目的とした。

## 2. 実験方法

実験のため、計測を簡略化するために、シャトルの落下のみに着目して研究を行った。本校の階段を実験場所として使用した。実験場所にある扉及び窓はすべて締め切り、空気の流れを最小限にした。

本実験で使用したシャトル(図 1)を以下に示す。  
①新品のシャトル、②1枚の羽根が欠けたシャトル、③向かい合った2枚の羽根が欠けたシャトル、④隣接する2枚の羽根が欠けたシャトル、⑤直角に位置する2枚の羽根が欠けたシャトルである。これ以降、それぞれ「新品」「1枚欠」「2枚欠・正対」「2枚欠・隣接」「2枚欠・直角」と呼称する。なお、本研究では YONEX 社製の水鳥球「AEROSENSA CLEAR II」4番を使用した。

(実験 1 について)

実験 1 では、シャトルの落下地点の変化を調べた。階段 2 階の手すり上にスタンド(図 2)を設置し、シャトルを 1 階地面からの高さが 6.0m にな

るようにつるした。シャトルの鉛直真下に、xy 座標を記入した記録用紙を固定し、シャトル先端にインクを付け、記録用紙に落下地点の xy 座標を記録した。全ての場合において 50 回ずつ実験を行った。

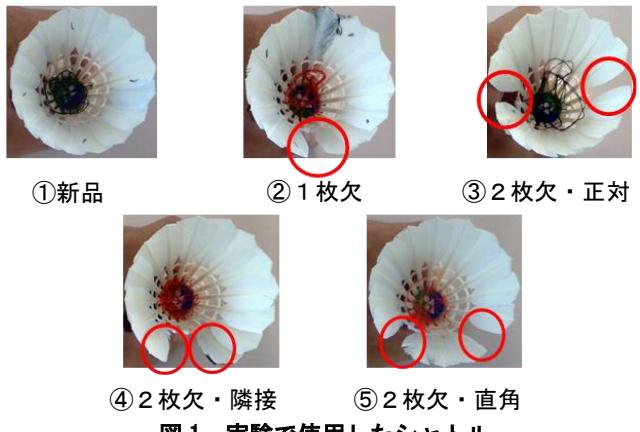


図 1 実験で使用したシャトル

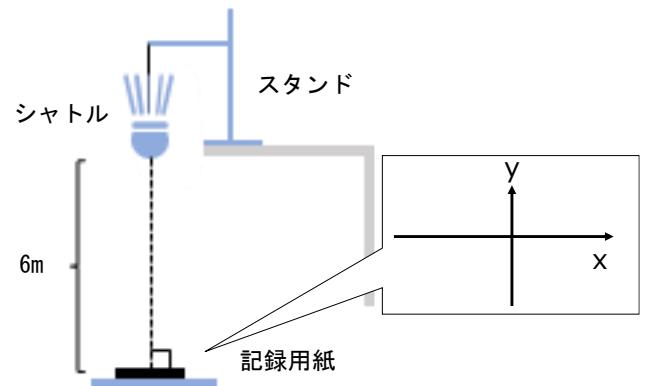


図 2 実験 1 の実験装置

(実験2について)

実験2では、シャトルの回転数を調べた。シャトルを手放してから着地するまでのシャトルの回転数を測定した。実験2は実験1と同様の方法で行った。コルクの鉛直真下にiPad(図3)を置き、落下の様子を動画で撮影した。この時、羽根を1枚任意に選んで着色し、回転の基準とした。実験1と同じシャトルを使用し、10回ずつ実験を行った。

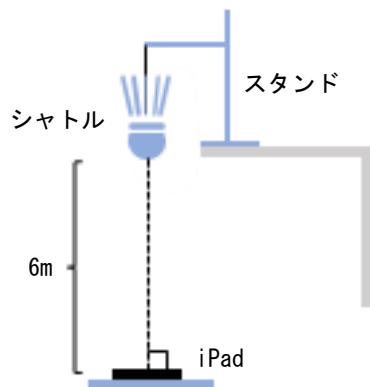


図3 実験2の実験装置

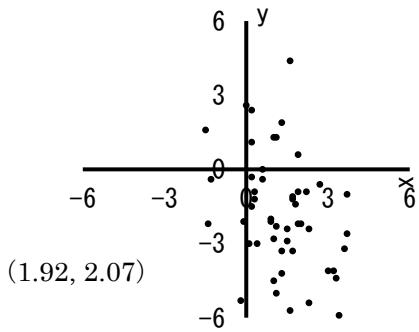


図4-③ 2枚欠け・隣接

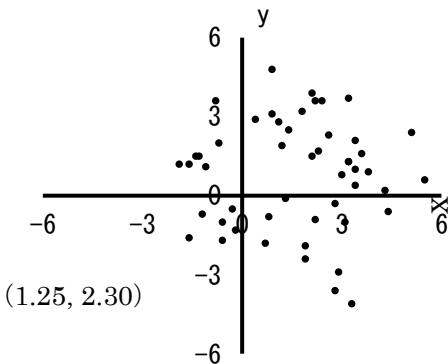


図4-④ 2枚欠け・正対

3. 結果

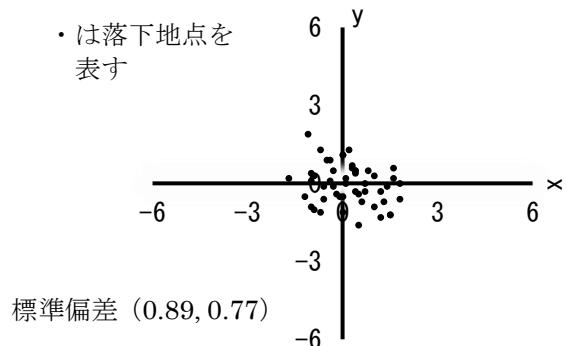


図4-① 新品

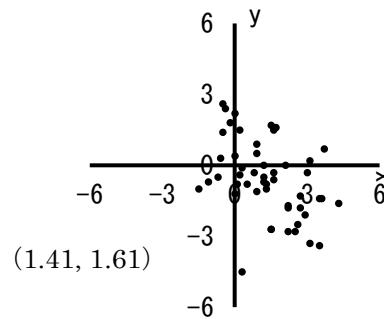


図4-⑤ 2枚欠け・直角

標準偏差 (0.89, 0.77)

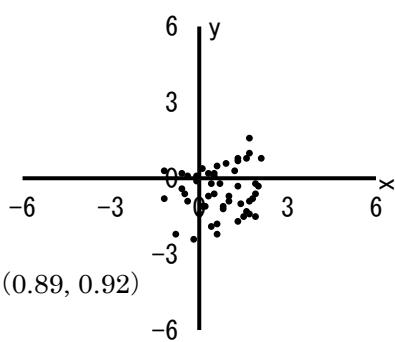


図4-② 1枚欠

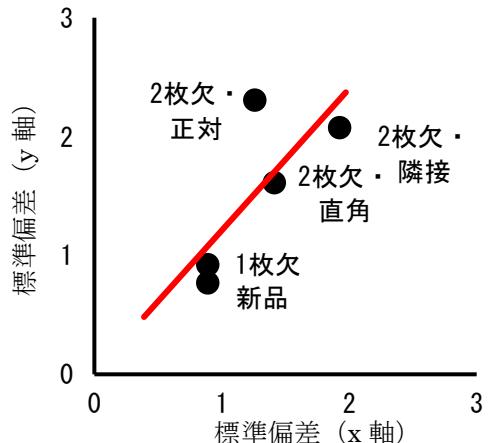


図4 実験1の結果

## (実験1について)

以下に実験結果を記す(図4)。(a)～(e)はすべて、x軸に落下地点のx座標、y軸に落下地点のy座標をとったもので、(f)は(a)～(e)について、それぞれのx座標の標準偏差をx軸に、y座標の標準偏差をy軸にとったものである。これを見ると、「新品」よりも「1枚欠」、「1枚欠」よりも「2枚欠」の方が落下地点のばらつきが大きく、特に「2枚欠・隣接」のばらつきが大きかった。

## (実験2について)

図5において、縦軸がシャトルの回転数を、横軸が羽根の欠けた枚数を表している。グラフより「新品」「1枚欠」「2枚欠」の順に回転数が多いくなる傾向が読み取れる。また、同じ「2枚欠」の中でも「2枚欠・隣接」のみ、「1枚欠」とあまり差がみられないことがわかる。

## 4. 考察

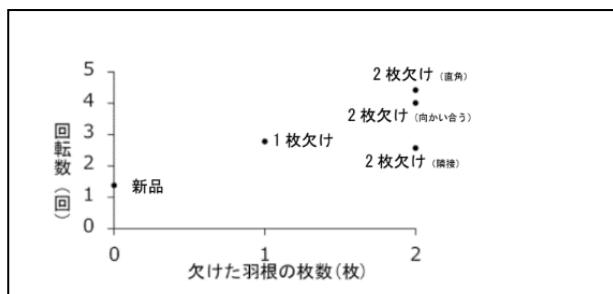


図5 欠けた羽根の枚数と回転数の関係

## (実験1について)

実験結果から、図6に示すように、羽根が欠けたことによって重心が移動し、それによって回転の中心が移動して落下地点にばらつきが生じたと考えられる。また、「2枚欠・隣接」は落下地点のばらつきが最も大きかった原因として、図7に示すように、重心の移動が最も大きかったためだと考えられる。

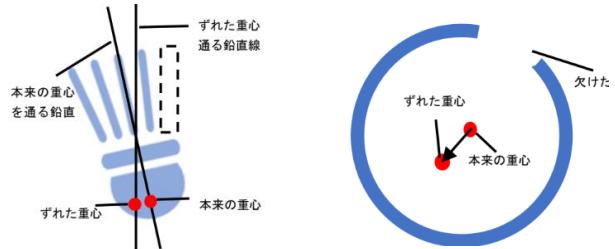


図6 重心の移動

図7 二枚欠・隣接の重心

## (実験2について)

過去の研究から、以下のことが判明している。これについて、図8に図解を示す。まず、シャトルの側面を流れる空気の一部が、図中の空気の流れの矢印の向きに従ってシャトル下部の隙間からシャトル内部に入り込む。シャトルの羽根は内部へ向かって膨らんだ形状をしているため、その入り込んだ空気によってシャトル内部に外部と比べて気圧が低い空間が作られる。これによって、シャトルの羽根を挟んで気圧が高い外部から気圧が低い内部へ向かって揚力が発生し、それがすべての方向から加わることで回転している。

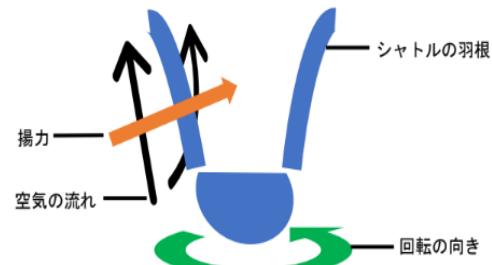


図8 シャトルが回転する理由

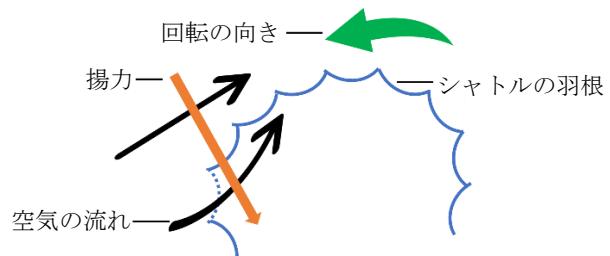


図9 1枚欠けに加わる揚力と空気の流れ

まず、「1枚欠」、「2枚欠・正対」、「2枚欠・直角」の3つについて記述する。図9は「1枚欠」

についてである。羽根が欠けたことによってできた隙間から、矢印で示されている向きに空気が入り込むことで揚力が追加で発生し、回転が速くなると考えられる。

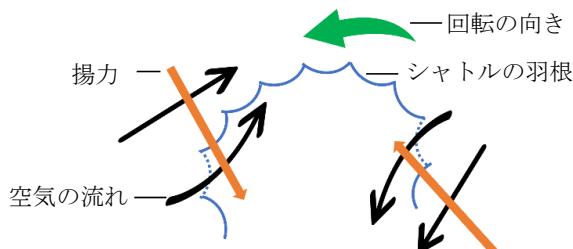


図10 2枚欠・正対に加わる揚力と空気の流れ

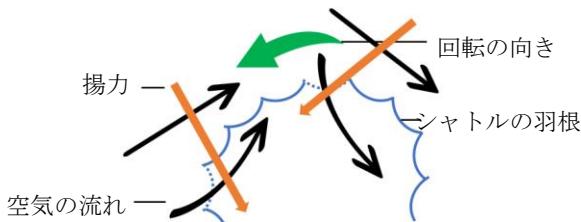


図11 2枚欠・直角に加わる揚力と空気の流れ

「2枚欠・正対」について、図10で示す。同様に、「2枚欠・正対」では反対側に位置する2か所で揚力が追加で発生していると考えられる。また、「2枚欠・直角」では図11に示すように直角に位置する2か所で揚力が追加で発生していると考えられる。このため、「新品」よりも「1枚欠」、「2枚欠・正対」、「2枚欠・直角」の回転数が多いのは、羽根の隙間の数が「1枚欠」よりも多いため、揚力が追加で発生する位置が増えたためだと考えられる。

「2枚欠・隣接」について、図12に示す。追加の揚力が発生すると考えられるのは他と同様であるが、「1枚欠」と「2枚欠・隣接」とで回転数にあまり差がみられない原因として、隣り合う2枚の羽根が欠けても隙間の総数は変わらず1つであるため、揚力が追加で発生する場所の数が変わらず、回転数が変化しなかったためだと考えられる。

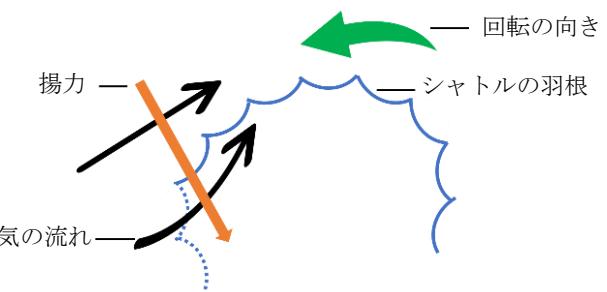


図12 2枚欠・隣接に加わる揚力と空気の流れ

## 5. 結論

新品のシャトルに比べて、羽根が欠けたシャトルは重心がずれたことによって回転の中心が移動し、着地点のばらつきが大きくなつた。また追加で発生した揚力によってシャトルの回転運動が促進されたと考えられる。

## 6. 参考文献

- 三浦徹太, 北川拓夢, 日出汐音, 林勇希, 福井翔輝 . “バドミントンのシャトルの回転が運動に及ぼす影響について” . 徳島県立城南高等学校. 2018. <https://jonan-hs.tokushima-ed.jp>, (参照 2024-09-23).
- 河内啓二. 揚力と抗力. 日本流体力学会誌「ながれ」 . 2002, 21, (4), p. 323-329.
- 片山諒太, 岡永博夫. バドミントンシャトルコックの空力特性. 日本機械学会関東支部総会講演会講演論文集. 2017, 23巻
- 片山諒大, 岡永博夫, 回転しているバドミントンシャトルコックの空力特性. シンポジウム: スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス講演論文集. 2018.

# 植物の成長と光量子束密度および温度の関係

班員 櫻井 風歌 高山 莉空 谷口 想楽 福田 拓海  
担当教諭 高畠 侑馬

キーワード：光合成 光量子束密度 二酸化炭素濃度

Light and temperature conditions under which plants grow were investigated using kaiware radish (*Raphanus sativus*) and pothos (*Epipremnum aureum*). Kaiware radish (*Raphanus sativus*) grew well with stems under low light. Pothos photosynthesized better at higher temperatures between 20°C and 35°C.

## 1 はじめに

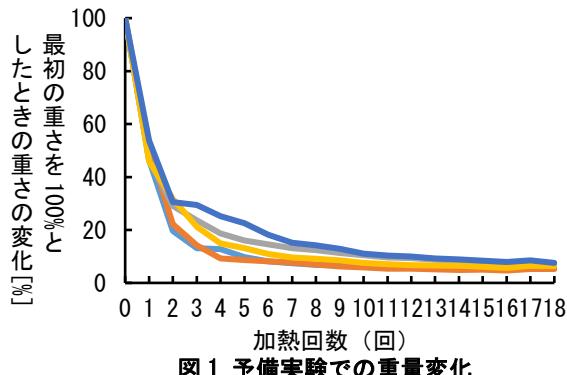
光の当てる強さを変化させてカイワレダイコンを栽培したところ、光が最も弱い個体で発芽率が高くなかった。また、目視でも長さや色に違いが見られた。この結果は光が当たるほど成長するという予想に反していたため、植物が成長するための条件をより詳しく調べようと考えた。

## 2 材料と方法

### I カイワレダイコンの成長と光量子束密度の関係

#### 〈予備実験〉

市販のカイワレダイコン5本を15秒間500Wで加熱することを繰り返した。加熱1回ごとに精密はかりで重さを量った。加熱前の重さを100%とすると、図1のように重さが減少した。16回目以降はほとんど重量変化がなかったので240秒加熱すれば水分が完全に抜けると判断できる。乾燥重量の測定では500Wで240秒間加熱することにした。



#### 〈I-1〉

光量子束密度の大きさを変化させたときにカイワレダイコンの成長はどのように変化するかを調べた。実験では、紙・アルミホイルを被せて光量子束密度を表1のように変化させた。光源には、植物育成LEDスタンド（和光電器株式会社）を使用した。5日間栽培した後、茎の長さ、生重量、乾燥重量を計測した。重量の計測には、OHAUS社製分析はかりを用いた。乾燥重量は電子レンジで240秒加熱した後に量った。

表1 カイワレダイコンにした操作と光量子束密度の大きさ

	光量子束密度 [ $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]
1. 何もかぶせなかった	240
2. 紙1枚かぶせた	110
3. 紙2枚かぶせた	45
4. 紙3枚かぶせた	25
5. アルミホイルをかぶせた	1



図2 実験I-1での栽培の様子

#### 〈I-2〉

実験I-1では、発芽前から条件を変えていたため発芽に適した条件を調べていた可能性が

ある。また、カイワレダイコンを入れたトレーに紙やアルミホイルを被せていたため、光条件以外に、湿度などが変化していた可能性がある。そこで、実験方法を次のように変えて I-2を行った。

20°Cの暗所で7日間栽培した後、1グループは20°Cの明所へ移動し、もう1つのグループは同じ暗所で育て続けた。移動後5日目に茎の長さ、葉の長さ、生重量、乾燥重量を計測し、移動前との長さの伸び、重さの増加量を比較した。光源には人工気象器（日本医化器械製作所）を用いた。



図3 実験I-2での栽培の様子

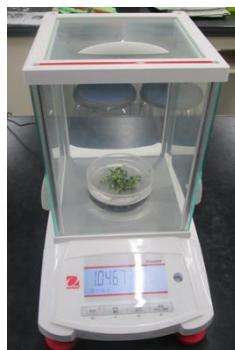


図5 重さの計測の様子



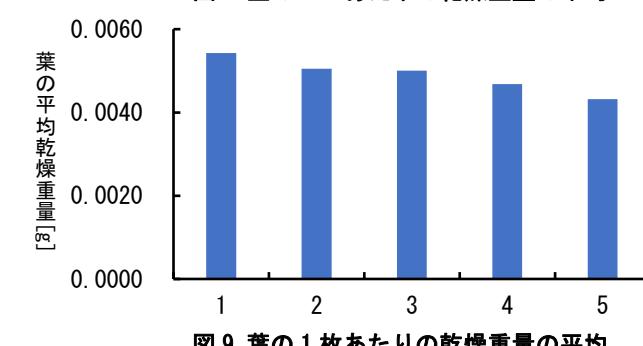
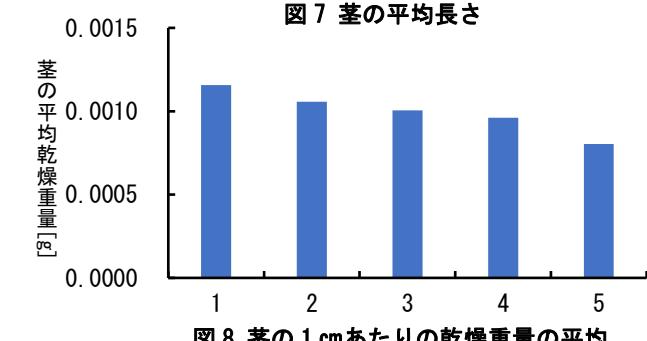
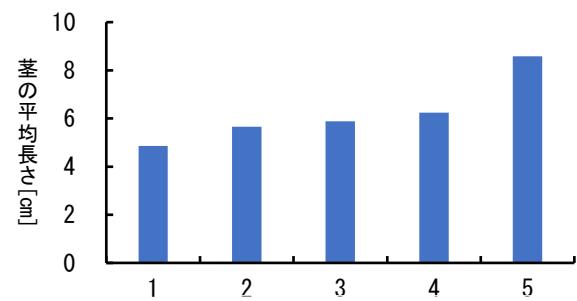
図6 乾燥後のカイワレダイコン

から午後6時のみポトスに光を当てた。

### 3 結果

〈I-1〉

茎の平均の長さは1では4.86cm、2では5.66cm、3では5.89cm、4では6.24cm、5では8.58cmとなった。1～5のすべての間で有意差が見られ、光量子束密度が小さくなるほど長くなった（多重比較p<0.05、図7）。茎の1cm当たりの乾燥重量は、1では1.2mg、2では1.1mg、3では1.0mg、4では1.0mg、5では0.80mgとなった。葉の1枚あたりの乾燥重量は1では5.4mg、2では5.0mg、3では5.0mg、4では4.7mg、5では4.3mgとなった。葉・茎の乾燥重量に有意差は見られなかったが、光量子束密度が小さくなるほど減少する傾向が見られた（多重比較p<0.05、図8、図9）。



〈I-2〉

茎の平均長さの伸び、乾燥重量の平均増加量

の算出方法は以下の通りである。

茎の平均長さの伸び

$$= (\text{移動後5日目の茎の長さの平均}) - (\text{播種後5日目の茎の長さの平均})$$

乾燥重量の平均増加量

$$= (\text{移動後5日目の乾燥重量の平均}) - (\text{播種後5日目の乾燥重量の平均})$$

茎の平均長さの伸びは、暗所から明所に移動したグループで0.38cm、暗所で育て続けたグループで8.8cmとなった（図10）。乾燥重量は暗所から明所へ移動したグループで平均0.11mg増加し、暗所で育て続けたグループで平均0.19mg減少した（図11）。

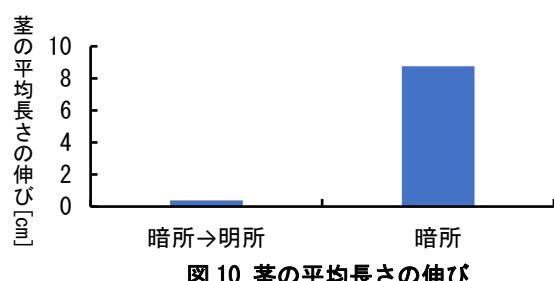


図10 茎の平均長さの伸び

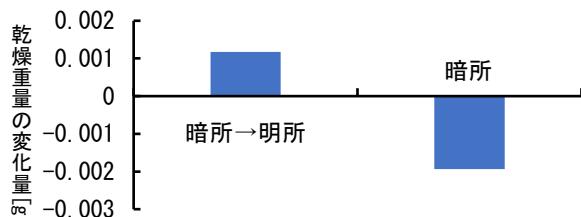


図11 乾燥重量の平均増加量

また、葉の平均の縦の長さは暗所から明所へ移動したグループで1.00cm、暗所で育て続けたグループで0.71cm長くなった（図12）。葉の平均の横の長さのは暗所から明所へ移動したグループで1.4cm、暗所で育て続けたグループで1.0cm長くなった（図13）。

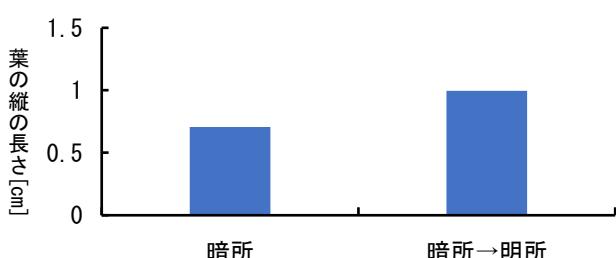


図12 葉の縦の長さの平均

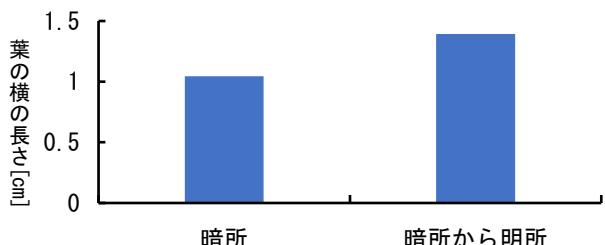


図13 葉の横の長さの平均

暗所から明所へ移動すると茎の平均長さの伸びは小さくなり、乾燥重量は増加した。暗所で栽培し続けると茎の平均長さの伸びは大きくなり、乾燥重量は減少した。

葉の長さは暗所から明所へ移動した場合は、暗所で育て続けた場合に比べて長くなる傾向があった。

＜II＞

1日目から2日目での経時的な二酸化炭素濃度の推移は次のようになった（図14）。ポトスに光を当てていなかった午後6時から午前6時までは1日目も2日目も関係なく二酸化炭素濃度が上昇した。一方、ポトスに光を当てていた午前6時から午後6時までは1日目も2日目も二酸化炭素濃度が上昇した。なお、これらの傾向は20°Cから35°Cにおける個体aから個体dまでのすべての個体で見られた。

半日ごとの二酸化炭素濃度の最大値と最小値の差は次のようになった（図15）。20°Cから35°Cの温度下において温度が高くなるほど二酸化炭素濃度の最大値と最小値の差も大きくなつた。これらの関係は20°Cから35°Cにおける個体b、個体cの2個体で見られた。

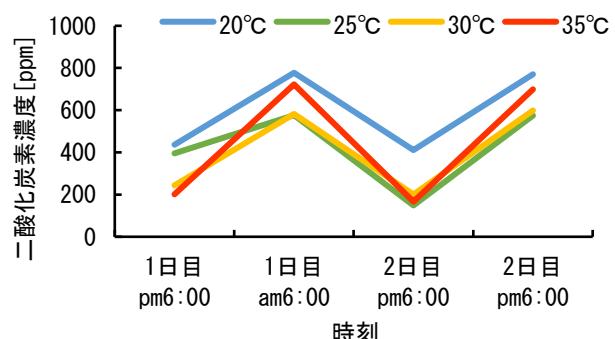


図14 二酸化炭素濃度の推移

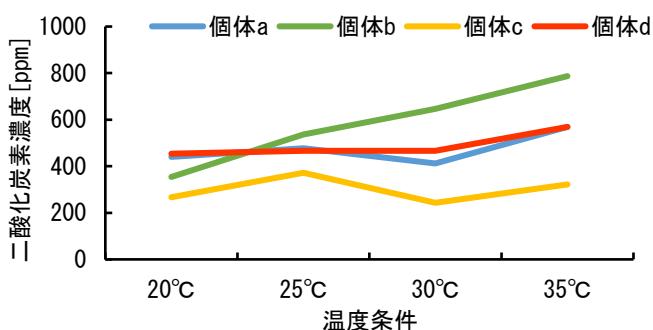


図 15 二酸化炭素濃度の最大値と最小値の差

#### 4 考察

&lt; I &gt;

##### ①光が当たらない場合 (図16)

新たな養分はほとんど作られず、種にもともとあった養分をもとにして成長している。その養分の多くは茎に与えられ茎が長く成長する。茎が長く成長するのは、茎を長く伸ばすことで光獲得競争に勝とうとしているためだと考えた。

##### ②光が当たる場合 (図17)

光合成により新たな養分が作られ、その養分の多くは葉に与えられ茎にはあまり与えられないため、葉の長さが長くなり茎がほとんど伸びない。葉の長さが長くなるのは、葉を大きくすることで光をより多く取り入れ、光合成を盛んに行おうとしているからだと考えた。



図 16 光が当たらない場合

図 17 光が当たる場合

&lt; II &gt;

光が当たっていたときに二酸化炭素濃度が低くなり、光が当たっていなかったときに二酸化炭素濃度が高くなかった。また、20°Cから35°Cの温度条件全体でこの関係が見られたことから、光が当たっているときに呼吸速度を上回る速度で光合成が行われたと考えた。

半日ごとにおける二酸化炭素濃度の最大値と最小値の差が、温度の上昇に伴って大きくなつた。呼吸速度と光合成速度は温度変化に大きく関係があるが、温度が高くなるにつれて光合成速度が大きくなる反面、光合成を行う生体の構造が不安定になるため、植物が高温になると結果的に光合成の効率が下がり始めるということがわかっている(3)(4)。ポトスは高温多湿な環境を好む植物であるため、20°Cから35°Cの間では生体の構造が不安定になりにくいと考えた。そのため、20°Cから35°Cの間では温度が上昇しても光合成の効率が下がることなく光合成速度も大きくなると考えた。

#### 5 結論

カイワレダイコンは光の有無により成長させる部位を変える。ポトスは20~35°Cの間では温度が高くなるほど光合成の効率がより高くなる。

#### 6 参考文献

- (1) 本田 正次, 林 弥栄, 古里 和夫. 原色園芸植物大図鑑. 福田元二郎発行, 1984, 862p.
- (2) 泉 秀実, 辰巳 保夫, 郷田 卓夫. カイワレ大根の品質及び成分に及ぼす製造中の光照射の影響. 日本食品工業学芸誌. 1984, 31巻, 11号, 704-709p
- (3) “東北大学理学部 生物学科”. 温度と光合成. [http://www.biology.tohoku.ac.jp/lab-www/hikosaka\\_lab/hikosaka/temp-short.html](http://www.biology.tohoku.ac.jp/lab-www/hikosaka_lab/hikosaka/temp-short.html), (参照 2024-12-11)
- (4) “日本植物生理学会”. 気温と光合成の活発度の関係について | みんなのひろば. [https://jspp.org/hiroba/q\\_and\\_a/detail.html?id=5013](https://jspp.org/hiroba/q_and_a/detail.html?id=5013), (参照 2024-12-11)

# 柑橘類の抗菌・抗真菌作用と成分間の相乗効果

班員 木元 真央 新木 慎侑子 村田 咲笑 矢田 莉音  
担当教諭 合田 恵史

キーワード：クエン酸、リモネン

Experiments were conducted using the disk diffusion method to investigate the antibacterial and antifungal effects of two components of citrus fruits, citric acid and limonene, and their synergistic effects. Both showed antibacterial activity. Only limonene showed antifungal activity. Regarding antimicrobial activity, a synergistic effect was observed between the two.

## 1はじめに

一般的にミカンやタチバナに代表される柑橘類には細菌や真菌の増殖を抑制する抗菌・抗真菌作用があると知られている。本研究では、柑橘類に含まれる代表的な成分であるクエン酸とリモネンを使用し、それの大腸菌と真菌に対する抗菌・抗真菌作用を調べた。クエン酸はpH6～7で抗菌作用を示す、柑橘類の果肉に含まれる水溶性の有機化合物であり、リモネンは柑橘類の外果皮に含まれる疎水性、揮発性をもつモノテルペンの一種である。本研究では、最初にクエン酸、リモネンの抗菌作用、抗真菌作用の有無を調べた。柑橘類の主な病気の原因となる菌と同じ種類に分類される菌を使用することで、柑橘類のどの部分が、どのような病気に対して、抗菌、抗真菌作用を持つのかを明らかにすることを本研究の目的とした。また、抗菌作用における相乗効果を調べ、食器用洗剤やトイレの芳香剤などへの活用の可能性を探ることも目的として研究を行った。

柑橘類に含まれる成分における抗菌・抗真菌作用を調べる研究で使用される実験方法であるディスク拡散法では、揮発性の成分と揮発性でない成分の抗菌・抗真菌作用を調べる手順で異なっている。そのため、揮発性の成分どうしの組み合わせの相乗効果

を調べる研究は行われているが、揮発性の成分と揮発性の成分でない成分の組み合わせの相乗効果を調べる研究は行われていない。この研究では、ディスク拡散法で揮発成分と揮発成分でない成分の組み合わせでの抗菌作用を調べる有効的な方法を探すことも目的とし、実験を進めた。

## 2実験方法

100 g のレモン果汁に含まれるクエン酸の平均の量が6.5gである(1)ことから、質量濃度が6.5%となるように精製水に溶かしたクエン酸とd-リモネンを使用し、ディスク拡散法により抗菌・抗真菌作用を調べた。d-リモネンは疎水性であり希釈することができないため、元々の薬品の濃度である濃度99.8%のまま使用した。実験には、カンキツかいよう病などのグラム陰性菌の一種である大腸菌と、真菌である酵母を使用した。まず、LB寒天培地の上に菌液を塗布し、クエン酸、リモネンを染み込ませたディスクを1つのシャーレに4個ずつ配置し(図1)、30～32℃に設定し、インキュベーターの中で24時間培養した。その後、ディスクの周りに阻止円が形成されているか判断し、形成されているときには、電子ノギスを使用して阻止円の直径を測定した。実験の際は、ディスクにクエン酸をマイクロピペットで染み込ませた後、十分に乾燥させてから使用した。ま

た、リモネンを実験に使用する場合は、揮発性を考慮し、寒天培地にディスクを配置する直前にマイクロピペットでディスクに垂らす形で染み込ませて、乾かさずに使用した。この方法で実験を行うことによって、できるだけリモネンの揮発による減量がなくなるようにした。

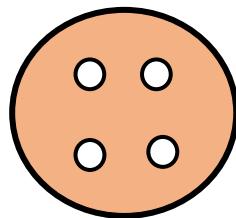


図1 ディスクの配置方法

### 【実験1】

クエン酸とリモネンのそれぞれの抗菌・抗真菌作用の有無を調べた。クエン酸とリモネンを先程示した方法で $2\mu\text{L}$ 、 $4\mu\text{L}$ 、 $6\mu\text{L}$ ずつ染み込ませたそれぞれのディスクを、濃度1.0%の大腸菌の菌液または一次発酵が完了した酵母<sup>(1)</sup>を塗布したLB寒天培地に配置し、 $30\sim32^\circ\text{C}$ のインキュベーターの中で24時間培養した。その後、ディスク周りに阻止円が形成されているか判断し、電子ノギスを使用して形成された阻止円の直径を測定した。

### 【実験2】

クエン酸とリモネンの大腸菌に対する抗菌作用の相乗効果を調べた。ディスクにクエン酸 $2\mu\text{L}$ を染み込ませて乾燥させた後、濃度1.0%の大腸菌の菌液を塗布したLB寒天培地にディスクを配置する直前に、リモネン $2\mu\text{L}$ を染み込ませ、実験1と同様に培養し、形成された阻止円の直径を測定した。クエン酸単体では $2\mu\text{L}$ の際、阻止円が形成されなかったことから、リモネン $2\mu\text{L}$ と組み合わせても、リモネン単体の抗菌作用しか発揮されず、リモネン単体 $2\mu\text{L}$ の阻止円の直径と同じ大きさの阻止円が形成されると予想し、実験1の結果と結果を比較した。

### 【実験3】

クエン酸は水分量が多い果肉に含まれている。そのため、実験2より果実内の実際の状態に近づけるために、クエン酸をディスクに染み込ませた後、乾燥させずに水溶液の状態で、相乗効果を調べた。また、相乗効果がクエン酸の影響によるかを調べるために比較実験として、リモネンと精製水の組み合わせの実験も行った。リモネンとクエン酸水溶液、リモネンと精製水の比が $1:1$ の混合液 $4\mu\text{L}$ をディスクに染み込ませ、リモネンの揮発性を考慮して乾燥させずにLB寒天培地に配置し、実験1、2と同様に培養し、形成された阻止円の直径を測定した。

## 3 結果

### 【実験1】

大腸菌に対して、クエン酸は $4\mu\text{L}$ 以上から阻止円が形成された。リモネンは $2\mu\text{L}$ 以上から阻止円が形成された。また、酵母に対して、クエン酸は阻止円が形成されなかった。リモネンは $2\mu\text{L}$ から阻止円が形成された。

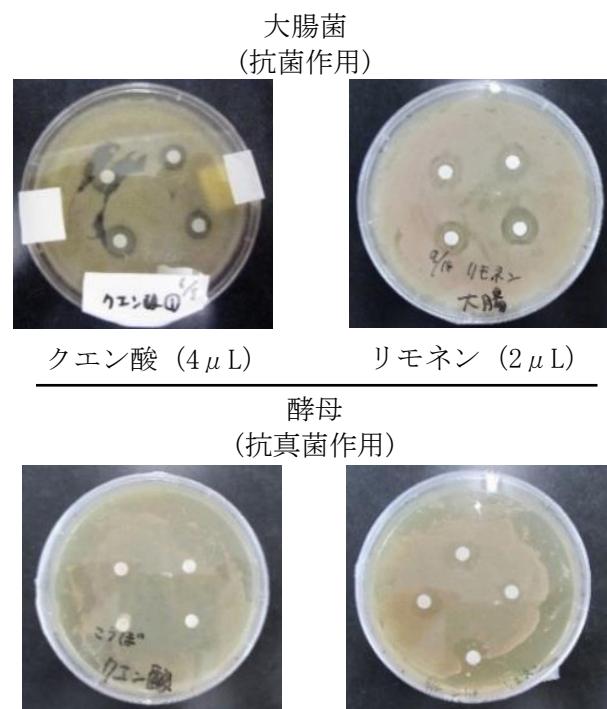


図2 クエン酸とリモネンの大腸菌と酵母に対する抗菌・抗真菌作用の結果

表1 抗菌・抗真菌作用作用の有無まとめ

	クエン酸 (4 $\mu$ L)	リモネン (2 $\mu$ L)
大腸菌 (抗菌作用)	○	○
酵母 (抗真菌作用)	×	○

### 【実験2】

実験1でのリモネン単体2  $\mu$  Lで形成された阻止円と比べ、有意に大きな阻止円が形成された（図3, N=4, p<0.01 t-test）。

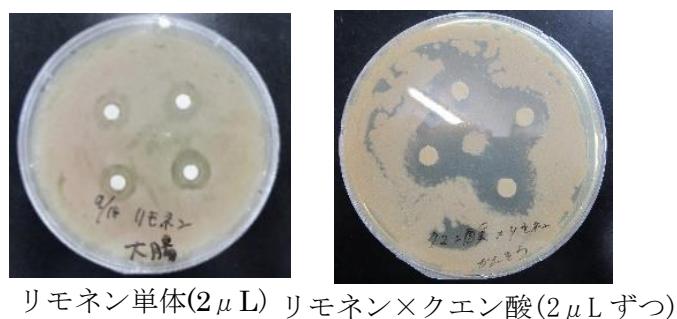


図3 リモネン単体2  $\mu$  L(左)とリモネンとクエン酸を組み合わせた(右)の阻止円の比較

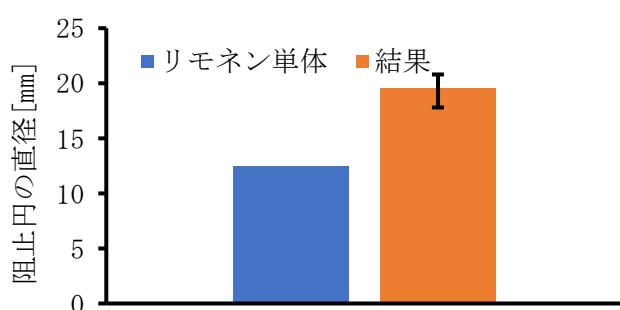


図4 リモネン単体(左)とリモネンとクエン酸を2  $\mu$  Lずつ組み合わせた(右)の阻止円の直径の比較

### 【実験3】

精製水とリモネンの混合液は大腸菌に対して阻止円を形成せず、クエン酸溶液とリモネンの混合液は阻止円を形成した。実験1でのリモネン単体2  $\mu$  Lの阻止円と比べ、有意な差はみられなかった。

(N=4, p>0.05 t-test)

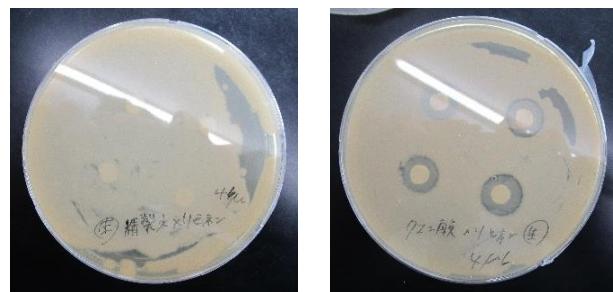


図5 リモネン×精製水(左)とリモネン×クエン酸溶液にできた(右)阻止円の比較

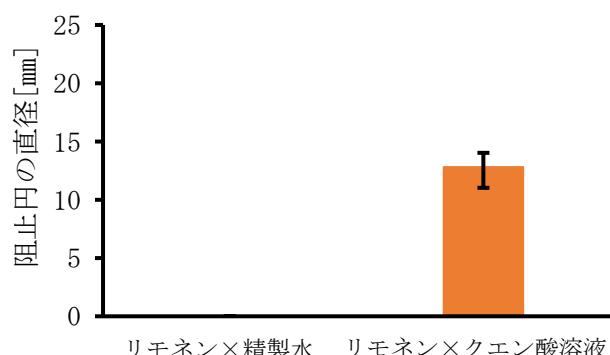


図6 リモネン×精製水(左)とリモネン×クエン酸溶液にできた阻止円直径の比較(右)

## 4 考察

### 【実験1】

クエン酸は抗菌作用のみ見られ、リモネンには抗菌作用と抗真菌作用の両方が見られた。クエン酸に抗真菌作用が見られなかった理由として、大腸菌に対して抗菌作用が見られるのは pH 4.5、酵母に対して抗真菌作用が見られるのは pH 3以下より、実験に使用した pH 5~7のクエン酸では抗菌作用のみしか働かなかったと考えられる。このことから、柑橘類は、果実と外果皮の両方に抗菌作用を持っており、また、外果皮のみ抗真菌作用を持っていると考えられる。

### 【実験2】

クエン酸単体2  $\mu$  Lでは阻止円が形成されなかったが、リモネンとクエン酸を組み合わせ

た時には、リモネン単体2 $\mu$ Lより有意に大きな阻止円が形成されたことから、クエン酸とリモネンはお互いの抗菌作用を増幅させており、この2つの成分には相乗効果があると考えられる。

### 【実験3】

精製水とリモネンの混合液が阻止円を形成しなかった理由として、リモネンの抗菌作用が精製水の水分によって弱くなつたと考えられる。また、クエン酸溶液とリモネンの混合液が阻止円を形成した理由は、水分によってリモネンの抗菌作用が弱くなつたが、クエン酸によって抗菌作用がはたらいたためだと考えられる。つまり、実際の柑橘類の状態に近づけた時にも、抗菌作用において相乗効果がはたらいたと考えられる。

## 5 結論

柑橘類の代表的な成分であるクエン酸とリモネンの両方は抗菌作用を持っており、リモネンのみ抗真菌作用を持っている。また、果実全体で細菌から果実内の種子を守り、外果皮が真菌から果実内の種子を守っている。クエン酸とリモネンでは、大腸菌に対する抗菌作用において、それぞれが単体の時より高い抗菌作用が見られたため、相乗効果がある。よつて、この相乗効果を利用して、これまでよりもさらに強い抗菌作用を持つ食器用洗剤やトイレの芳香剤を作ることができると考えられる。また、リモネンは水分によって抗菌作用が弱まるが、クエン酸によって抗菌作用を強めることができる。しかし、自然の状態では果実の部分と外果皮は内果皮やアルビドによって隔てられており、柑橘類の果実の成分と外果皮の成分が混ざり合わさることがないため、実際の柑橘類は相乗効果を利用して病気から果実を守つてゐるわけではない。

## 6 参考文献

(1) 日本食品標準成分表（八訂）増補2023年から出典

(2) 石島早苗, 安部茂 “安全で簡易な抗真菌活性の測定法マニュアル”. 帝京大学. 2012, vol. 3 no. 1, p. 7-16.

(3) 松田敏生, 矢野俊博, 丸山晶弘, 熊谷英彦. 日本食品工業学会誌. 有機酸類の抗菌作用—各種pHにおける最小発育阻止濃度の検討—. 1994, vol. 41, no. 10, p. 687-701

(4) 藤岡 千代子. “リモネンによる病原糸状菌の病原性制御と宿主植物における誘導抵抗性に関する研究”. 岡山大学大学院自然科学研究科. 2016. [https://ousar.lib.okayama-u.ac.jp/files/public/5/54320/2016091414495555474/K0005337\\_fulltext.pdf](https://ousar.lib.okayama-u.ac.jp/files/public/5/54320/2016091414495555474/K0005337_fulltext.pdf)  
(参照 2024-07-18)

(5) 生駒吉識, 小川一紀, 杉浦実, 尾崎嘉彦. “「農水産物機能性活用推進事業」報告書, 2.機能性成分・活用性等調査 一各種機能性成分を有した国産農作物（国産カンキツ類）—（2）ウンシュウミカン”. 独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構. 2010. <https://www.shokusan.or.jp/wp-content/uploads/2019/03/582pdf3.pdf>  
(参照 2024-07-18)

(6) 鈴木俊吉 [ほか]編. 微生物制御実用事典, フジ・テクノシステム, 1993.12. 4-938555-38-7, 10.11501/13641839. [https://ndlsearch.ndl.go.jp/books/R100000074-IALIS\\_QQ00107310](https://ndlsearch.ndl.go.jp/books/R100000074-IALIS_QQ00107310)

# 紙が滑りやすくなる条件について

班員 柴田 俊太郎、関野 拓也、二口 晃太朗、山口 竜河  
担当教諭 井藤 龍真

キーワード：滑る、揚力、空気

A piece of paper that drops from a desk may slide and move on the floor. An experiment was conducted to research the cause of this phenomenon. The results showed that room temperature and lift force had little relationship to the sliding of paper, but that the angle at which the paper was dropped, the height at which it was dropped, and the type of paper had a great influence on the sliding of paper.

## 1 はじめに

机の上から落ちた紙が床に着地した後に床の上で滑ることがある。私たちは、この現象の紙が床の上で滑っている距離に着目し、実験を行った。

本研究は、この現象が起こる条件、起こりやすくなる条件を解明することを目的としている。

## 2 材料と方法

本実験を行うにあたって「紙が滑っている」の定義を、紙の全ての端が着地した後から床の上を動いている間と定めた。また、紙の全ての端が着地した状態を影がない状態（図1）となつたときと定めた。



図1 影がない状態



図2 影がある状態

＜実験1, 2, 3, 4で使用した材料＞

- ・紙を落とす角度  $\theta$ （図3）を変更するための台
- ・実験用紙（コピー用紙）  
実験1, 2, 3, 4ではA4サイズを使用した。  
実験4では15cm四方のサイズを使用した。
- ・実験用紙（折り紙）  
15cm四方のサイズを実験4で使用した。

### ・実験用紙（厚紙）

A4のサイズを実験4で使用した。

### ・A0サイズの方眼用紙（はば1cm）

紙の中心の座標を求めるために使用した。

### ・デジタルカメラ

紙が床に着地する様子を撮影するために使用した。

### ・スマートフォン

紙の移動距離を計測するために使用した。

＜実験方法＞

- 1 紙を台において方眼用紙を敷いた床に向かって落とした。
- 2 床と水平な位置からデジタルカメラで紙が床に着地する瞬間を撮影し、方眼用紙の真上からスマートフォンで紙が滑っている状態を撮影した。
- 3 スマートフォンの映像から座標を分析し、紙が滑った距離を求めた。

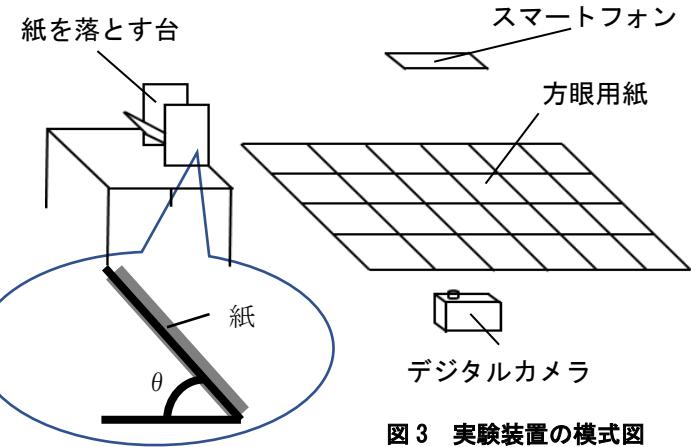


図3 実験装置の模式図

<移動距離の測定方法>

- 紙の全ての端が着地した位置を滑る前の位置a、紙が静止した位置を滑った後の位置bとした。
- スマートフォンの映像からaとbの中心の座標をaとbそれぞれの対角上の2点の座標を分析し、求めた。
- 滑った距離をaとbの中心間の距離<sup>(図4)</sup>とした。

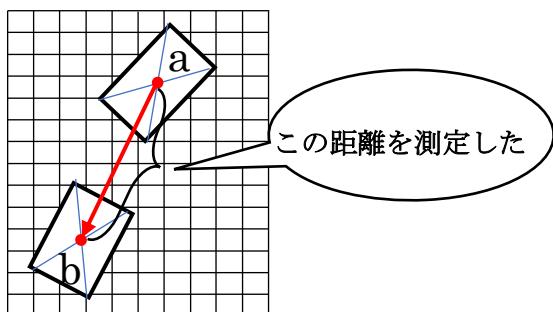


図4 移動距離の測定方法

<実験1>

気温(室温)と平均移動距離の関係を調べた。室温を25°C、28°C、31°Cに変更し、実験を行った。

<実験2>

紙を落とす角度と平均移動距離の関係を調べた。紙を落とす角度  $\theta$  を30°、45°、60°、90°に変更し、実験を行った。

<実験3>

紙を落とす高さと平均移動距離の関係を調べた。紙を落とす高さを20.3cm、43.2cmに変更し、実験を行った。

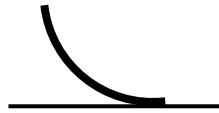
<実験4>

紙の種類と平均移動距離の関係を調べた。紙の種類をA4サイズの厚紙、15cm四方の折り紙、15cm四方のコピー用紙に変更し、実験を行った。

3 結果

紙が床に着地したときの様子をA～Eの5タイプに分類した。進行方向

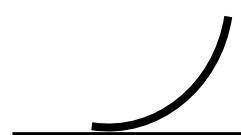
A:進行方向の1辺が初めに着地



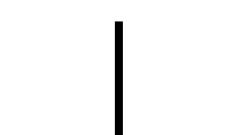
B:反りながら床に着地  
(全ての端以外が初めに着地)



C:進行方向と逆の辺が初めに着地  
(空中で反りながら床に着地)



D:床と垂直に着地



E:紙が床でバウンドしてから着地



図5 5つのタイプ分け

<実験1の結果>

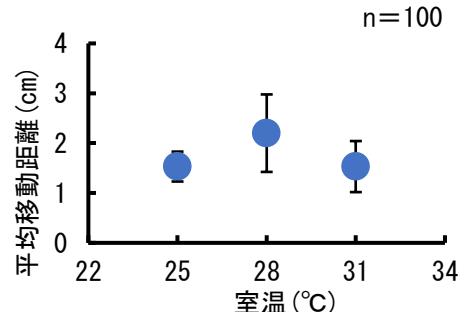


図6 室温と平均移動距離の関係

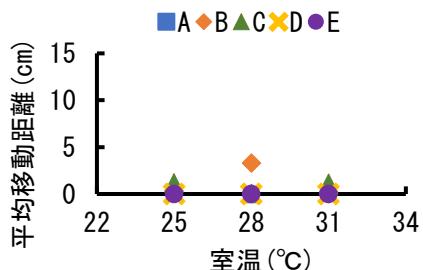


図7 各タイプの平均移動距離

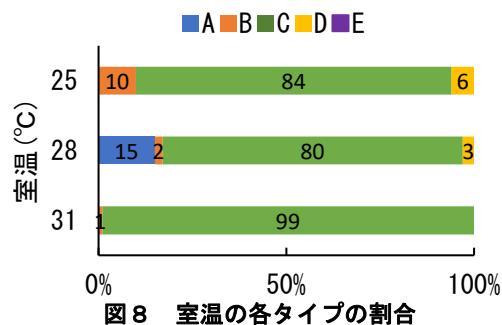


図8 室温の各タイプの割合

室温によって平均移動距離はほとんど変化しなかった。25°C、28°CではAタイプの平均移動距離が最も大きかった。31°CではCタイプが99%、Aタイプが0%であったため、Cタイプの平均移動距離が最も大きくなかった。また、どの室温でもCタイプの割合が最も高かった。

## &lt;実験2の結果&gt;

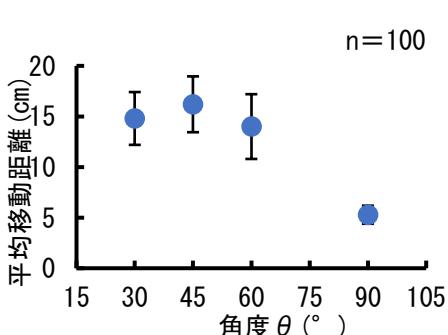


図9 角度と平均移動距離の関係

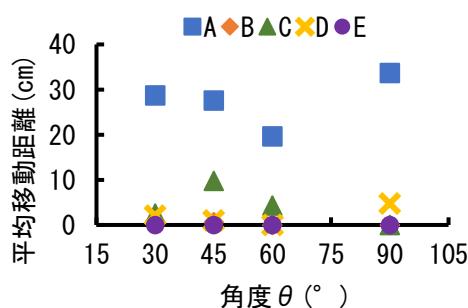


図10 各タイプの平均移動距離

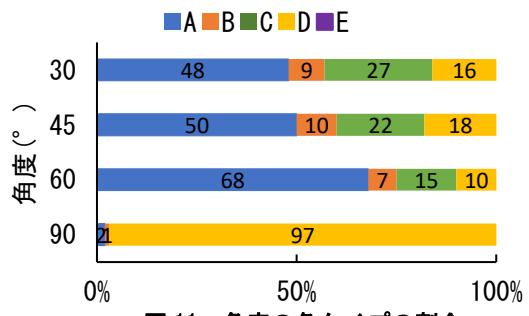


図11 角度の各タイプの割合

30°、45°、60°の平均移動距離に差はほとんどなく、90°の平均移動距離が最も小さかった。どの角度もAタイプの平均移動距離が最も大きかった。30°、45°、60°はAタイプの割合が最も高く、90°はDタイプの割合が最も高かった。

## &lt;実験3の結果&gt;

n=100

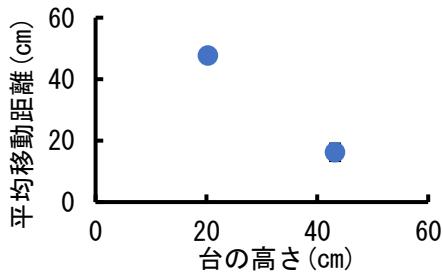


図12 高さと平均移動距離の関係

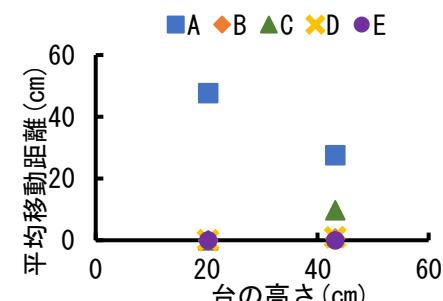


図13 各タイプの平均移動距離

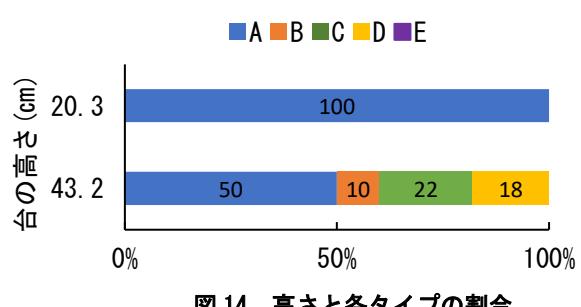


図14 高さと各タイプの割合

台の高さを低くすると平均移動距離は大きくなかった。どちらもAタイプの平均移動距離が

最も大きかった。また、どちらもAタイプの割合が最も高かった。

#### <実験4の結果>

$\alpha$  : A4の厚紙       $\beta$  : A4のコピー用紙  
 $\gamma$  : 15cm四方の折り紙       $\delta$  : 15cm四方のコピー用紙

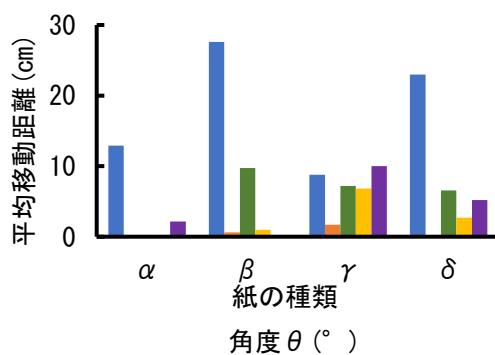
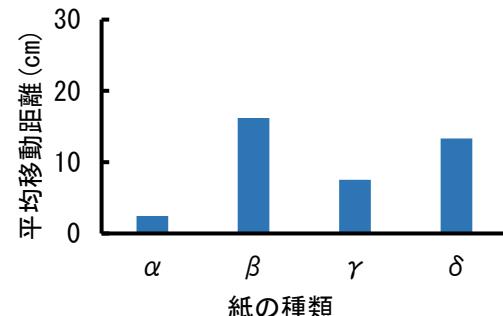


図16 各タイプの平均移動距離

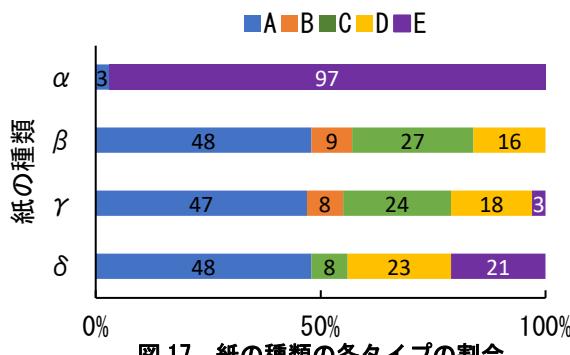


図17 紙の種類の各タイプの割合

A4のコピー用紙の方が厚紙より平均移動距離が大きかった。15cm四方のコピー用紙の方が折り紙より平均移動距離が大きかった。どの紙でもAタイプの平均移動距離が最も大きかった。厚紙はEタイプの割合が最も高く、厚紙以外はAタイプの割合が最も高かった。

#### 4 考察

滑りやすさに室温は影響を与えておらず、紙を落とす角度、紙を落とす高さ、紙の種類は滑

りやすさに影響を与えていた。台の高さを低くするとよく滑るようになった。折り紙やA4の厚紙よりもA4のコピー用紙の方が滑りやすかった。また、私たちは床と紙の間の空気が滑りやすさに影響を与えていると想え、揚力について注目した。揚力は物体を上に押し上げる力である。揚力の大きさは次の式で求められる。

$$\frac{1}{2} \rho V^2 S C_L$$

$\rho$  : 流体の密度 [kg/m<sup>3</sup>]       $V$  : 速度 [m/s]  
 $S$  : 射影面積 [m<sup>2</sup>]       $C_L$  : 揚力係数

本実験では速度以外の値が一定であると考えられるため、揚力の大きさは速さの2乗に比例すると想えられる。紙の速さが最大となるとき移動距離が最大をとると仮定し、図18を作成した。

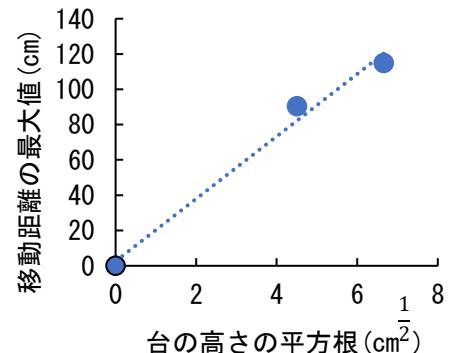


図18 移動距離の最大値と高さの平方根

図18より台の高さの平方根は、紙の速さの最大値と比例すると想えた。速度と移動距離は比例し、速度の2乗(揚力)とは関係ないと想えられる。このことより、滑りやすさに揚力は影響を与えていないと考えた。以上のことから、紙が床の上で滑りやすくなる条件として紙を落とす角度、紙を落とす高さ、紙の種類が考えられる。

#### 5 結論

紙の滑りやすさには紙を落とす角度、紙を落とす高さ、紙の種類が関係している。

#### 6 参考文献

森田泰司.流体の力学計算方法.学校法人東京電機大学東京電機大学出版局,1996,164p