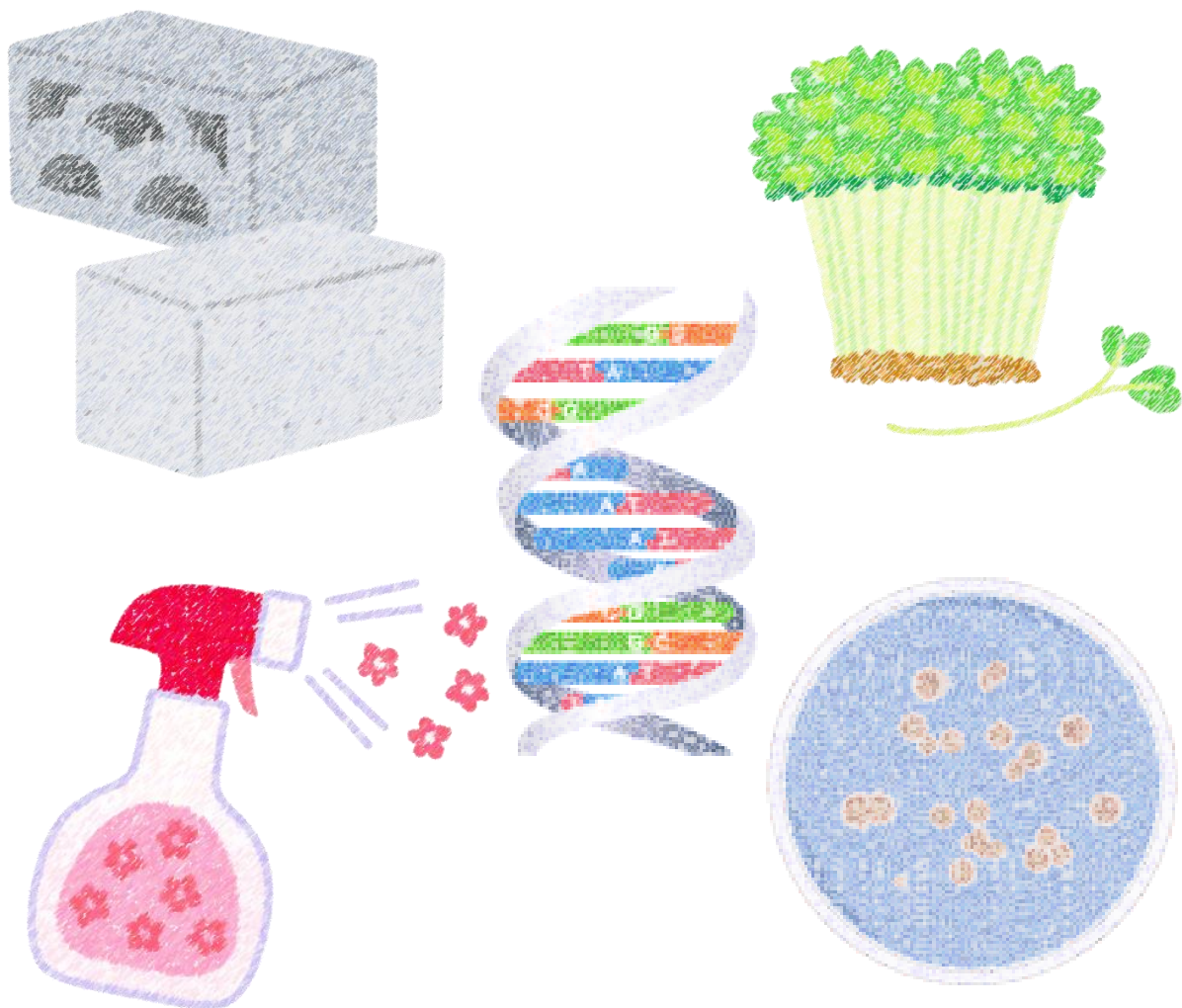


令和5年度 七尾高校課題研究論文



自然科学研究Ⅱ (課題研究)

石川県立七尾高等学校

目 次

- ① 降雨による電波強度の減衰を利用した降水量予測・・・・・・・・・・P 1
坂本 博斗／大目 航太／長谷雄一郎／船塚 晃平 （担当教員 山本 一博）

- ② 発酵度合の異なる 3 種の茶葉間での抗菌作用の違い
～特に抽出方法に注目して～・・・・・・・・P 5
木下 結花／土島 咲愛／中田 湮／畠野 千怜 （担当教員 橋谷 広司）

- ③ Python を用いたごいたの有効戦略の検証・・・・・・・・・・P 9
川田 優希／河原 佑樹／瀬戸 雄輝 （担当教員 釜谷 智貴）

- ④ ドジョウ飼育水における様々な温度での環境 DNA 量の経時的変化・・・・・・・・P13
柴 葉月／中山 絢乃／松原 慶治／村山 昂輝 （担当教員 谷野 智了）

- ⑤ 人工傷をつけた葉の成長段階と抑制効果の関係について・・・・・・・・P17
黒崎 孝太／中島 汐莉／中山 善仁／萬谷 実央 （担当教員 高橋 玄季）

- ⑥ ブタナの傾性運動に影響する環境要因について・・・・・・・・・・P21
奥野 幹生／垣内 颯真／林 瑞樹／増野 悠美 （担当教員 小林 広典）

- ⑦ 剣道の面に繁殖する菌に対する消臭剤の効果・・・・・・・・・・P25
石田こころ／大島寛次郎／中川 そら／番坂 昊生 （担当教員 吉村 彰志）

- ⑧ コンクリートの中性化を防ぐには・・・・・・・・・・P29
鍋島 琴美／秦 咲空／羽多 麻尋／松田 愛加 （担当教員 高橋 潤哉）

- ⑨ 物体の回転落下運動における落下距離と回転量の関係・・・・・・・・・・P33
香川 廉斗／瀬口慎太郎／中谷 未来／羽田 雄栄 （担当教員 井藤 龍真）

- ⑩ 酸性雨による花卉の脱色原因・・・・・・・・・・P37
板尾 歩武／岩崎 瑞生／梅本 彩由 （担当教員 高畠 侑馬）

降雨による電波強度の減衰を利用した降水量予測

班員 坂本 博斗 大目 航太 長谷 雄一郎 船塚 晃平
担当教諭 山本 一博

キーワード：電波、降雨減衰、電界強度計

To verify the usefulness of radio waves, which are known to attenuate in strength during rain fall, for rainfall forecasting, we conducted experiments to determine whether water interferes with radio waves and whether there is a difference in the relationship between BS and terrestrial radio waves with rainfall. The results showed that the reception strength is attenuated by the presence of raindrops of a size exceeding the wavelength on the route of the radio wave, and that the BS radio wave is suitable for rainfall forecasting.

1 はじめに

電波とは電磁波の一種であり、透過や回折といった性質を持つ。透過とは電波が物体を通り抜ける、回折とは電波が物体の裏側に回り込む性質である。また、周波数ごとに性質が異なり、高ければ高いほど直進して伝わる性質である指向性が強い。そのほかにも一般的に降水時には電波が吸収、散乱されることによって、受信強度が減衰することが確認されている。

先行研究では、それらの電波の中でも宇宙空間から飛来するBSの電波（以下BS電波とする）に着目し、受信強度の変化から局地的豪雨を予測するという研究が行われていた。そこでは降水時に電波強度が減衰することは示されていたが、降水量と電波強度の減衰の程度の関係は明記されていなかった^[1]。その関係を明確化し活用することで、局地的降水の予測が可能ではないのかと考えた。本研究では先行研究の再現性及び受信強度の変化の様子から降雨の程度の予測を行いつつ、独自の降雨予測システムを構築することを目的に実験を行った。

2 材料と方法

〈実験1, 2, 3で使用した材料〉

- ・Wi-Fiルーター（CISCO）
2.4Hzのものを実験1に使用した。
- ・Wi-Fi Analyzer（VREM）

実験1のWi-Fiの電波強度を測定した。

- ・ペットボトル

7cm×7cm×22cmのものを実験1に使用した。

- ・シグナルレベルメーター（LF983, リーダー株式会社）

実験2のBS電波及び地上波の電波強度を測定した。

- ・降水量のデータ（気象庁）

降水量の参考として実験2, 3に使用した。

- ・BS電波

30GHz帯のものを実験2に使用した。

- ・地上波

515MHzを実験2に使用した。

〈実験1〉Wi-Fi電波を用いた水の有無と通信速度の関係の調査

Wi-Fi電波を用いて水が電波の障害物となるのか検証を行った。

約60cm離して配置した2.4GHzのWi-Fiルーターとスマートフォンの間に水を入れたペットボトルを並べていき、Wi-Fi Analyzerを用いて置いたペットボトルの本数ごとに電波強度の値を計測した。（図1）



図1 実験1の様子

〈実験2〉 降水量とBS電波強度及び

地上波の電波強度の相関の調査

降水時におけるBS電波と地上波の電波強度の減衰の相関を調査した。

電波強度計を用いて、BS電波及び地上波の受信強度を計測し、電界強度計の液晶に映し出される値をタイムラプスカメラで10分ごとに撮影した(図2)。撮影で得られたデータを気象庁の10分ごとの降水量のデータと照らし合わせてグラフ化し、相関がみられるか検証した。

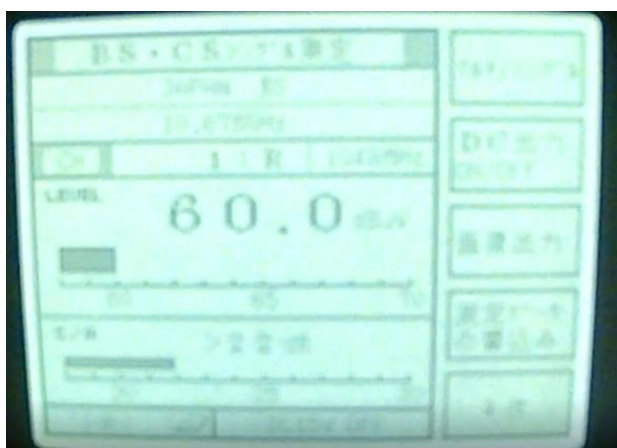


図2 電界強度計

〈実験3〉 降雪量とBS電波強度の相関の調査

降雪時におけるBS電波の受信強度の減衰の相関を調査した。

実験方法は実験2と同様である。

3 結果

〈実験1〉

水を入れたペットボトルを一本も置かなかった場合、電波強度は-41dBmの値を示し3本(幅約21cm)を置いた場合は-48dBmの値を示した。4本以上置いた場合、値の変化は見られなかった(図3)。

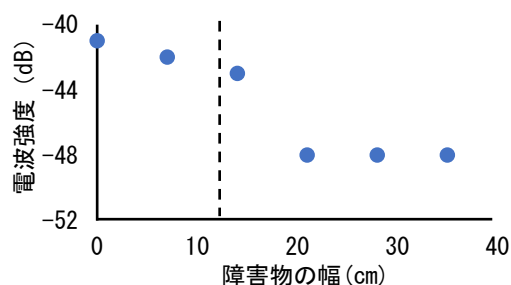


図3 障害物の幅と電波強度

図3では値が0に近いほど電波強度が大きいこと、図中の点線はWi-Fi電波の波長(約12.5cm)を示している。

〈実験2〉

BS電波の受信強度は降水量の増加に伴って減衰した(図4)。地上波の受信強度では2つの変化パターンが得られたがいずれも降水量との相関は見られなかった。(図5, 6)

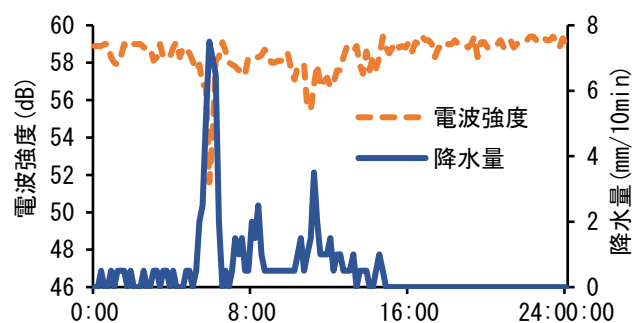


図4 BS電波の強度と降水量(7月1日)

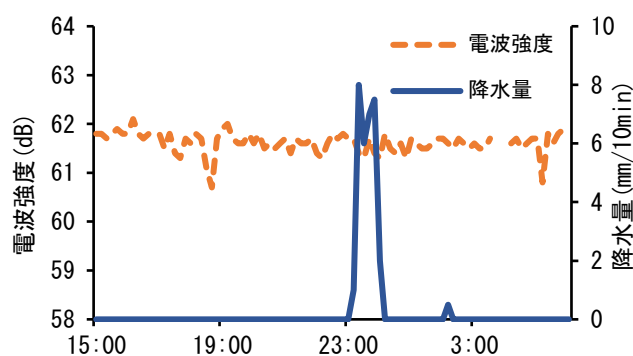


図5 地上波(6ch)の強度と降水量(8月26~27日)

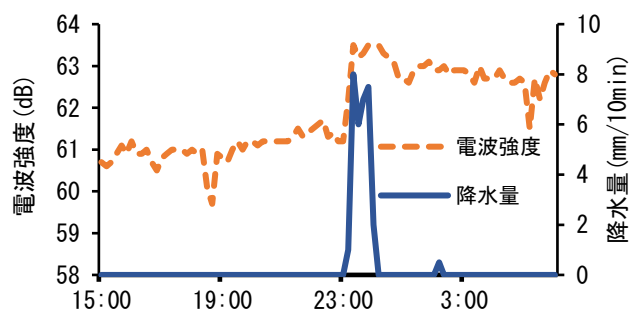


図6 地上波(10ch)の強度と降水量(8月26~27日)

〈実験3〉

降雪があつてから遅れて電波強度が減衰する、または減衰し続けるという結果が得られた。(図7, 8)

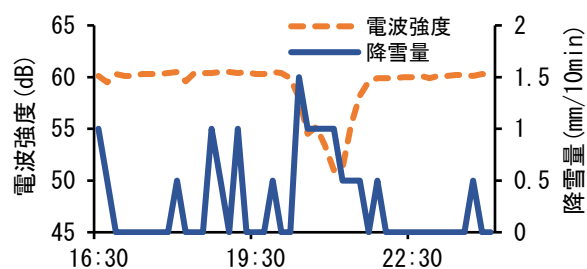


図7 BSの電波強度と降雪量 (12月21日)

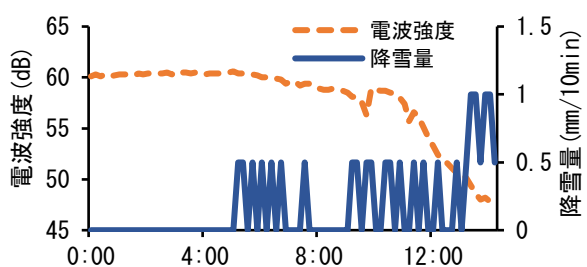


図8 BSの電波強度と降雪量 (12月22日)

4 考察

【電波の減衰条件について】

実験1では障害物の幅を21cmに設定した時点で電波強度が減衰していた。Wi-Fi電波(2.4GHz)の波長が約12.5cmであることから考えると、障害物の幅が波長より大きくなり、回折が起こりにくくなる条件を満たしたためだと考えられる。よって、電波は進行方向上に波長を上回る幅の障害物が存在すると電波強度が減衰し、雨粒を構成する液体の水は電波の障害物になりうると考えられる。

【降水と受信強度の関係について】

実験2ではBS電波は降水量にともなって受信強度が減衰していたが、地上波の受信強度には降水量にともなった変化が見られなかった。2種類の電波の間でこのような違いが生じた原因としては地上波の周波数が300MHz～3GHz帯であるのに対して、BS電波の周波数は30GHz帯であり、BS電波のほうが周波数が高く散乱が起こりやすいということが関係していると考えられる。また、地上波の波長は10cm～1m、BS電波の波長は10cmであり(表1)、10cmを超える雨粒は存在しないことから地上波は雨粒による電波強度の減衰が起こらないと考えられる。よって、降雨の予測に用いる際には地上波より

もBS電波のほうが適していると考えられる。

表1 各放送の周波数と波長

| | BS 電波 | 地上波 |
|-----|-------|-------------|
| 周波数 | 30GHz | 300MHz～3GHz |
| 波長 | 1 cm | 10 cm～1m |

【降雪と受信強度の関係について】

実験3では、降水時に見られたような強い相関は認められなかった。BS電波強度の減衰は、降雪空間におけるものというよりも、アンテナなどへの着雪によるものであると考えることが適していると考えられる。

5 追加実験

〈実験4〉BS電波の測定時刻と降水及び降雪時刻の相関の検証

実験2,3の結果を受け、BS電波の受信強度を測定した時刻と降雨及び降雪のあった時刻を同時刻とみなして検証を行った場合と、降雨及び降雪のあった時刻を10分遅らせて検証を行った場合とで相関に違いがみられるのか検証を行った。10分は参考にした気象庁のデータの最小単位である。

実験2,3で収集したデータを降水量の大きさごとに分けてグラフ化し、同時刻の場合と10分後にずらした場合とで相関を比較した。

結果

【降雨について】

同時刻とみなした場合の相関係数は-0.45(図9)、10分後にずらした場合の相関係数は-0.75という値が得られた(図10)。

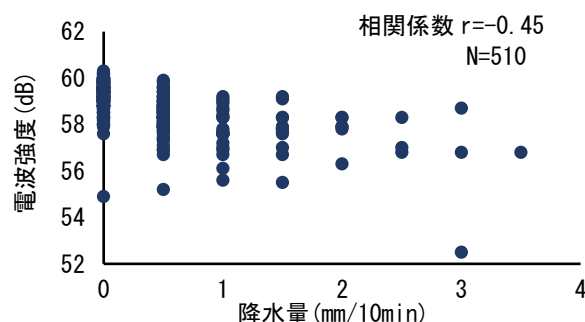


図9 同時刻の降水量と電波強度(BS)

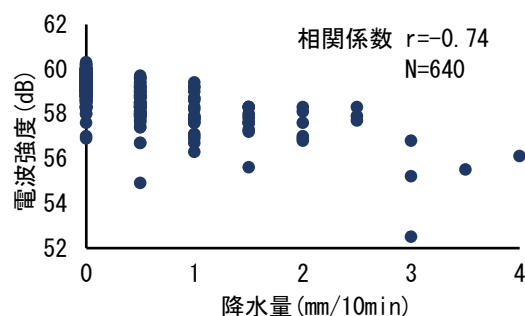


図10 10分後の降水量と電波強度 (BS)

【降雪について】

同時刻とみなした場合の相関係数は-0.45 (図11)、10分後にずらした場合の相関係数は-0.75という値が得られた (図12)。

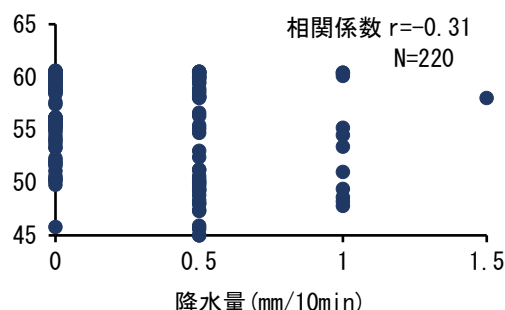


図11 同時刻の降雪量と電波強度 (BS)

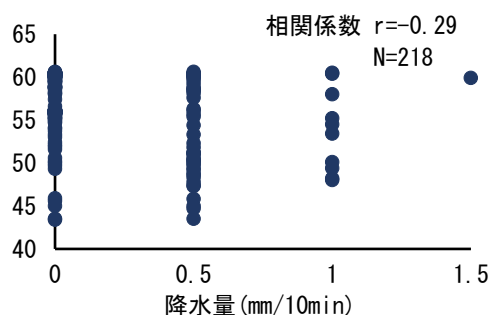


図12 10分後の降雪量と電波強度 (BS)

考察

【BS電波の降雨予測に対する有用性について】

日本気象協会によると雨雲は秒速12.5m/s、2000～7000mの高さで^[3]、Asahi SatelliteによるとBS衛星への仰角は39.2°、方角は南西であり^[4]、測定を実施した日が雨雲が南西から北東に進んでいた。以上のことを踏まえると電波強度の減衰を確認してから雨雲が移動し、実際に雨が降り出すまでの時間は約3～11分であると算出できると考えた。

【降雪について】

実験3の結果から、BS電波強度の減衰は、降雪空間によるものというよりも、アンテナなどへの着雪によるものであると考えることが適していると考えられる。

6 今後の展望

【降雨予測システムについて】

これまでの実験2,3では参考にしたデータの最小単位が10分であったことから、測定を10分単位で行ったが、時間の幅をより細かく設定することで、より正確な予測に近づけられるのではないかと考える。また、受信強度を観測する地点を増やしたり、具体的な降雨の量を予測することでより実用的な予測システムの構築につなげたい。さらに、受信強度を自動で収集し、著しい電波強度の減衰を観測したときに通知するシステムを構築することができれば、突発的な降雨である際にも事前に予測することが可能になると考える。

【降雪について】

実験3では降雪時の電波強度の減衰はアンテナなどへの着雪によると考えられた。今後はアンテナの着雪状況にも留意しながら観測及び考察を行いたい。

7 参考文献

- [1] 鹿児島県立錦江湾高等学校 川添愛莉 西府美音 前原凜花 吉永恵、2022年、BSアンテナで局地的豪雨予測Ⅱ～SNSとIoTを活用した観測網の全国展開～
- [2] 過去の気象データ検索、気象庁
<http://www.jma.go.jp/obd/stats/etrn/>
6月30日～7月9日、8月25日～9月22日
12月21日～22日
- [3] 石川県の雨雲レーダー、日本気象協会
<https://tenki.jp/>、6月30日～7月9日
- [4] Asahi Satellite,
<http://www.satellite.co.jp/>

発酵度合の異なる3種の茶葉間での抗菌作用の違い

班員 木下 結花 土島 咲愛 中田 湊 畠野 千怜
担当教諭 橋谷 広司

キーワード：抗菌作用 ディスク拡散法 茶 菌

It is generally known that tea has antibacterial effects. Therefore, in this study, we performed the disk diffusion method using three different extraction methods with the aim of investigating the differences in antibacterial activity among three types of tea leaves with different degrees of fermentation due to oxidation. The results suggested that in the conventional way of making tea, pure water does not exhibit antibacterial activity, and that tea with a low degree of fermentation due to oxidation has more antibacterial substances. By making the tea more concentrated and consuming tea with a lower degree of fermentation than the standard method of making tea, it will be possible to produce antibacterial effects within the body.

1 はじめに

一般的に茶には抗菌作用があることが知られている。例えば、茶に含まれるカテキンは黄色ブドウ球菌や白癬菌に対して抗菌作用を示すことが明らかにされている。茶葉には発酵度合の異なる様々な種類の茶がある。これらは酸化による発酵とそれ以外の発酵に分けられ、酸化による発酵でできる茶は4種類あり、不発酵茶、弱発酵茶、半発酵茶、発酵茶である。酸化以外による発酵茶は2種類あり、弱後発酵茶、後発酵茶である。本研究では酸化による発酵でできた茶を使用して実験を行った。不発酵茶である緑茶、半発酵茶である烏龍茶、発酵茶である紅茶である。これらの茶は全てチャノキの葉から作られ、茶葉に含まれる酸化酵素の働きによって成分が変化し、茶葉が変色する。こうした発酵度合の違いにも着目し、3種間での作用の違いを明らかにすることを目的とした。

2 方法

ディスク拡散法を用いて実験を行った。本研究ではディスク拡散法により阻止円を計測することで抗菌作用の有無と大小を調査した。ディスク拡散法では、ディスクに含まれる物質の作用により菌が生育できない範囲が阻止円と

して表れている。この阻止円が大きいほど、抗菌作用が強いことを示す。また今回の実験では緑茶は伊藤園のワンポットエコティーバッグ抹茶入り緑茶を使用、烏龍茶も同じく伊藤園のワンポットエコティーバッグ烏龍茶入りを使用した。

ディスク拡散法では試験対象菌を寒天培地に全面塗抹した。試験対象菌として細菌である乳酸菌と大腸菌、真菌類である酵母を使用した。乳酸菌はフジッコ手作りカスピ海ヨーグルトを、大腸菌はノートルダム女学院附属高等学校の田中先生から冷凍保存したものを提供していただいた。酵母は日清ドライイーストを用いた。細菌はLB培地で、真菌類はサブロー寒天培地で培養した。次に抽出した成分(茶)を染み込ませたペーパーディスクを培地に4枚、配置した。滅菌シャーレと同じ直径90mmの円形の紙に垂直に交わる直線2本をひき、その交点から22.5mmのところに点を打ち、その点の位置にペーパーディスクを配置した。ペーパーディスクはろ紙に穴あけパンチで穴をあけ、直径約6mmのものを作成した。2日後に阻止円の有無を確認し、生じた阻止円の大きさをデジタルノギスで計測した。

—菌の塗抹—

純水を用いて菌の濃度が1%の水溶液を作り、

寒天培地に全面塗抹した。

塗抹にはガラスビーズを使用した。濃度1%の水溶液にガラスビーズを入れ、ガラスビーズ全体に液が付くようにした。その後、寒天培地にガラスビーズを10個ずつ入れ、水平方向に培地を振り、培地全体に菌が塗抹した。

—抽出方法—

純水、水道水、エタノールを用いて抽出を行った。純水、水道水で抽出をする際は一般的な茶の淹れ方を参考に茶を抽出した。85℃の水150mLに四角形のティーパックに入れた茶葉2gを2分間浸して抽出した。エタノールで抽出する際は先行研究を参考に次のように抽出した。濃度20%のエタノール15mLに四角形のティーパックに入れた茶葉0.2gを24時間おき、25℃に設定したインキュベーターの中で抽出した。エタノールは揮発性物質であるため、純水や水道水と同様の方法で抽出を行うと気化してしまう。気化を防ぐためにスクリー管に入れて抽出する必要があった。サイズの小さいスクリー管を使ったため、溶液の量を1/10にした。

3 結果

—純水で抽出した場合—

どの菌に対しても阻止円は見られなかった (N=4、表1)。

表1 純水での各菌に対する各茶の抗菌作用の有無

| | 純水 | | |
|-----|-----|-----|----|
| | 乳酸菌 | 大腸菌 | 酵母 |
| 緑茶 | × | × | × |
| 烏龍茶 | × | × | × |
| 紅茶 | × | × | × |

○…阻止円あり ×…阻止円なし

—水道水で抽出した場合—

乳酸菌、大腸菌を全面塗抹した培地で阻止円は確認出来なかった (N=4)。

酵母を全面塗抹した培地では緑茶、紅茶の場合で阻止円を確認出来た。緑茶でできた阻

止円の直径は 7.11 ± 0.3 、紅茶の場合は 7.45 ± 0.66 であった (N=4、図3)。これらの間に有意差は見られなかった ($p > 0.05$, T検定)。酵母を全面塗抹した培地で阻止円ができたものはこのように全面に菌が生育しているものの、ディスクの周りには阻止円ができており、菌が生育していない状態であった (図1、図2)。



図1 酵母×緑茶



図2 酵母×紅茶

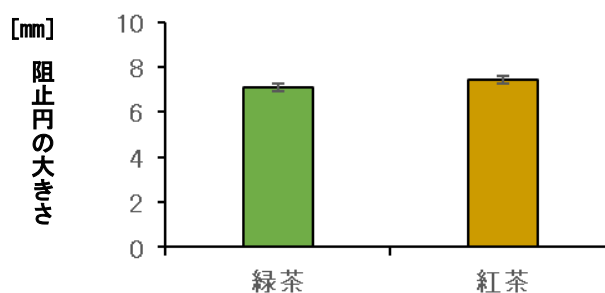


図3 阻止円の大きさの比較

表2 水道水での各菌に対する各茶の抗菌作用の有無

| | 水道水 | | |
|-----|-----|-----|----|
| | 乳酸菌 | 大腸菌 | 酵母 |
| 緑茶 | × | × | ○ |
| 烏龍茶 | × | × | × |
| 紅茶 | × | × | ○ |

○…阻止円あり ×…阻止円なし

—エタノールで抽出した場合—

酵母では阻止円は確認出来なかった (N=4)。

乳酸菌では阻止円は確認出来なかった (N=4)。しかし、部分的に菌が集まった (図4)。

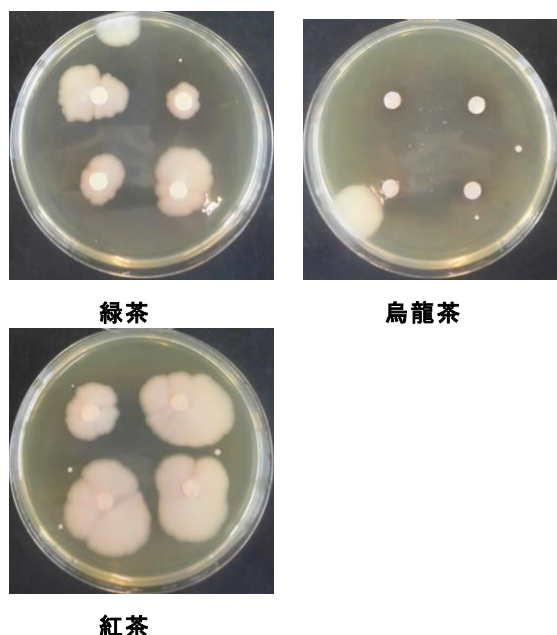


図4 シャーレ内の乳酸菌の様子

大腸菌では緑茶、烏龍茶で阻止円を確認できた。緑茶の阻止円は 8.66 ± 0.32 、烏龍茶は 7.25 ± 0.13 であり、緑茶の方が有意に大きかった($p < 0.01$, T検定)。大腸菌を全面塗抹した培地で阻止円ができたものはこのように全面に菌が生育しているものの、ディスクの周りには菌が生育せず、阻止円ができていた様子であった(図5、図6)。



図5 大腸菌×緑茶



図6 大腸菌×烏龍茶

グラフで表すとこのようになった(図7)。

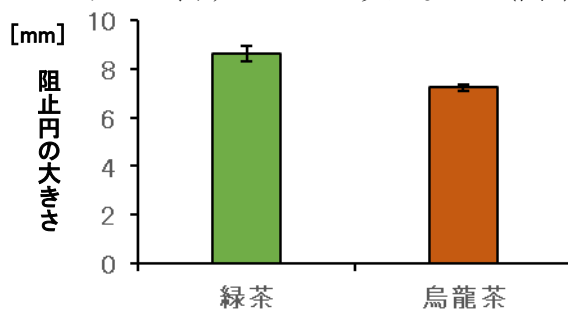


図7 阻止円の大きさの比較

表3 エタノールでの各菌に対する各茶の抗菌作用の有無

| | エタノール | | |
|-----|-------|-----|----|
| | 乳酸菌 | 大腸菌 | 酵母 |
| 緑茶 | × | ○ | × |
| 烏龍茶 | × | ○ | × |
| 紅茶 | × | × | × |

○…阻止円あり ×…阻止円なし

4 考察

—発酵度合と抗菌作用の関係—

エタノール抽出の大腸菌の結果では、発酵度合の低い緑茶の方が阻止円が大きかった。これより、茶の発酵度合が低い方が抗菌性物質が多く抽出されたと考えられる。

—抗菌作用に影響した成分—

エタノール抽出ではカテキンやタンニン、サポニンなどが影響を及ぼしたと示唆された。ペーパーディスクを抽出した茶に浸してから2日間乾燥させている間にエタノールは完全に気化するため、ペーパーディスクには茶の成分のみが含まれているからである。

水道水抽出ではミネラルが抗菌作用に影響を及ぼした可能性があった。純水で抽出した場合と水道水で抽出した場合の実験方法は、抽出液のみを変えた対照実験となっている。これより、水道水で抽出した場合のみ結果が表れたのは純水には含まれておらず、水道水には含まれている物質が影響していると考えられる。

5 今後の課題

メタボローム解析をし、抽出液の成分分析を行う。これにより抽出液間で抽出された成分にどのような違いがあるのか、抗菌作用に影響した成分は何かを特定したい。

水道水に含まれている成分を特定する。本研究では水道水に含まれている成分が抗菌作用に影響を及ぼしたと考えている。しかし、その成分量は地域や天候、どの場所から水道水を入

手するかによって変化する。そこで、本研究で用いた水道水の成分名と成分量を特定し、それと異なる成分量の水道水でも同じ結果に至るのか実験したい。また、含有成分量の異なる水道水どうしで抽出した場合を比べることで、どの成分が強く抗菌作用に関係を示すのか特定したい。

塩素が含まれていない水道水を用いて水道水で抽出した場合と同じ実験を行う。水道水に含まれている塩素は殺菌作用がある。そこで、本研究の水道水で抽出した場合の結果が塩素の殺菌作用によるものか確認したい。

本研究の抽出方法とは異なる、一般的な家庭でもできる茶の抽出方法で実験を行う。例えば水出しや煮だすといった方法だ。抽出方法によって抽出時間や温度が変化する。これによる抗菌作用の大きさの変化を比べたい。

本研究で使用した茶と別のメーカーの茶を使用して実験を行う。メーカーによって原材料が異なる。今回用いた茶の原材料は、緑茶が茶・抹茶、烏龍茶が茶、紅茶が茶であった。緑茶は抹茶の影響がでているかもしれない。さらに、添加物が含まれているものとそうでないものを用いて実験を行うと異なる結果が得られるかもしれない。そこで、複数のメーカーの茶を使うことで添加物による抗菌作用の違いも見ていきたい。

無極性溶媒である抽出液を用いて実験を行う。極性溶媒では極性分子が溶けやすく、無極性溶媒では無極性分子が溶けやすい。また、本研究で用いた抽出液は全て極性溶媒であった。このことから、抗菌作用をもつ無極性分子の物質はペーパーディスクにさほど含まれていない。そこで、無極性溶媒の抽出液を用いた場合、抗菌作用にどう影響するか調べたい。また、無極性溶媒の抽出液を複数用いて実験を行い、本研究と調べることで、抗菌作用をもつ物質は極性分子か無極性分子のどちらが多いかも調べていきたい。

エタノール以外の揮発性物質の抽出液を用

いて実験を行うことで茶の成分のみでの抗菌作用の結果を確認し、茶の発酵度合と抗菌作用の関係を確立していく。エタノール抽出での大腸菌の結果からでしか茶の発酵度合と抗菌作用の関係を考えられていない。そのため、別の揮発性物質の抽出液を用いて茶の成分のみ含まれているペーパーディスクを作る。

エタノールで抽出した場合の乳酸菌の結果の原因を探る。阻止円ができなかった培地はどれも全面に菌が生育し、阻止円ができた場合はディスクの周りだけ菌が生育していない状態だった。しかし、乳酸菌だけ、部分的に菌が生育していたり、逆にディスクの周りに菌が集まっていたりした。そこで、理由を解明することで、この現象を利用して効率よく乳酸菌を吸収する方法などに有効活用していきたい。

6 参考文献

山田茉莉衣、茶殻からのカテキン類抽出と活用法の検討、2021

Pythonを用いたごいたの有効戦略の検証

班員 川田 優希、河原 佑樹、瀬戸 雄輝

担当教諭 釜谷 智貴

キーワード：ごいた、Python、有効戦略

Goita is a board game that originated in the Noto region of Ishikawa Prefecture. The purpose of this study was to devise a new and effective strategy by focusing on the characteristics of Goita. The newly devised strategy was put into Python, and a program was created and verified. By focusing on "shi (Pawn) ," one of the pieces of goita, we were able to devise a new strategy and show its effectiveness..

1 はじめに

ごいたには強い戦略として認知されているものがいくつか存在する。しかし、それらの有効性を検証した論文を見つけることができなかった。そこで、我々がそれらの戦略の有効性を検証した。

また、既存の戦略の有効性を検証することで、我々が用いた手法が有効であることが示される。従って独自に考案した戦略を同様の方法を用いて検証を行った。

2 研究方法

既存の戦略を検証する際に、強い戦略のみでは手法の有効性を検証しきれないため、弱くなると推測される戦略と、有効性を検証した戦略をさらに強化した戦略を加えて検証を行った。なお、ごいたの勝利条件は複数回ゲームを重ねて得点を150点得ることであるが、本研究では1ゲームのみに着目し、得点に関しては無視するものとする。

各戦略の検証を行うにあたって、4人のプレイヤー（P1、P2、P3、P4）を設定し、P1とP3、P2とP4はそれぞれ同チームで、P1→P2→P3→P4→P1の順で手番を行うようにした。

Pythonを用いてGoogle Colaboratory上でごいたを自動で行うプログラムを作成した。ごいたを行う際に、戦略を使用しない場合などは駒の枚数や点数の順（駒の強い順）で攻めに使用

するように設定した。戦略に応じて駒を出す優先順位を変更し、検証を行った。また、P1とP3に戦略を使用させ、P2、P4は戦略を使用させず、各プレイヤーの勝率を比較した。

3 親の優位性

戦略の検証では1回のゲームを繰り返して勝率を比較するが、その際に親を1人のプレイヤー（P1）に固定させたまま行くと戦略未使用時に勝率に偏りが見られた（図1）。そこで1ゲームごとに親がランダムに選ばれるように設定したところ、戦略未使用時は全プレイヤーが等しい勝率を示した。戦略の検証の際は、親をランダムに選び、各戦略の検証を行った。

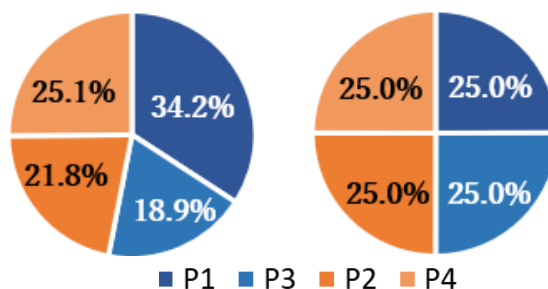


図1 左：親固定（P1） 右：親ランダム

4 既存の戦略についての検証

既知の強い戦略として、ごいたにはチームの勝率を上昇させる戦略や減少させる戦略が存在する。

<独占感知>

32枚の駒のうち、「飛、角」は2枚ずつ、「金、銀、馬、香」は4枚ずつ存在する。この戦略は1人のプレイヤーが1種類の駒を多く占有しているときの駒の出し方を設定したものである。これを「独占感知」と呼ぶことにする。

この戦略を使用するプレイヤーは手駒と場に出た枚数からその種類の駒の占有率を判断し、独占（占有率100%）が感知された場合はその駒を優先して攻めに使用する。感知されなかった場合は、占有率の高い駒を使用する。ここで、「金、銀、馬、香」の4種類の駒について独占が感知されなかった場合は、同じ種類の駒を3枚所持しているかを判断して攻めに使用する。なお、駒の占有率は75%以上の範囲で判断するようにした。

<味方援護>

ごいたは自身が手駒をすべて無くさなくても、味方が手駒を使い切ることでチーム全体として勝利することができる。そのため、自身は積極的に手駒を出さず、味方の手駒を無くすように立ち回る戦略が存在する。この戦略を「味方援護」と呼ぶことにする。

戦略を使用するプレイヤーは自分が受けを行う際の攻めが敵味方のどちらのものであるのかを判別する。敵からの攻めであった場合は可能な限り受けを行い、味方からの攻めであった場合、受けることができたとしてもパスをする。

<駒の少ない順>

戦略を使用するプレイヤーは手駒の中で駒の強さに関わらず、数量の少ない順で攻めに使用する。

自身が所持している駒の種類が少ないことは相手がその駒を多く所持しているということ意味する。そのため、相手に受けられやすくなることや自身の持つ駒の種類が少なくなっていくことから弱い戦略として知られてい

る。

<独占細分化>

独占感知は占有率が75%までの駒を感知していた。この戦略では各プレイヤーは占有率を50%まで感知する範囲を広げて戦略を使用する。また、同じ占有率の駒があった場合、「香」の駒は優先順位を最も高くして攻め、伏せを行うときは独占状態にある駒を必ず使用しないように設定した。

独占感知を強化したことで、もとの独占感知と比較して、より相手に受けられにくい駒を選択できるようになる点と、伏せの駒を選択するときに、有利な駒を温存することができるという点でプレイヤーはより攻めやすく、独占感知より勝利できる場面が増えたことで勝率が上昇する。

これを実際に戦略として適用させ、プレイヤーの勝率を見た。

<結果>

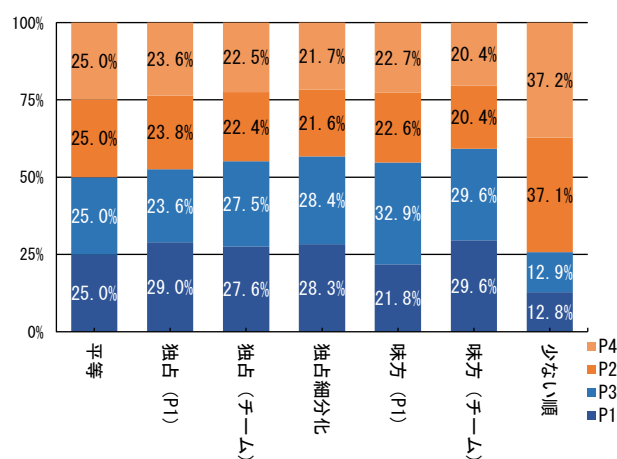


図2 既存の戦略の検証結果

戦略の勝率は同チームに属するP1とP3が使用した場合を示しているが、独占感知と味方援護についてはP1のみに適用させた結果も示してある。また、戦略未使用時の勝率と比較して有意な差であるかを判断した。

チーム全体の勝率を戦略未使用時と比較すると、独占感知は5.1%上昇した。独占細分化

は戦略未使用時から6.7%、独占感知から1.6%上昇した。この結果は χ^2 検定で有意な差があることが判断できた。また、味方援護はP1のみ使用した場合には4.7%上昇し、チームで使用した場合には9.2%上昇した。駒の少ない順は24.3%減少した。

< 考察 >

既存の戦略の検証について、強いと推測されている戦略には高い勝率を示し、弱いと推測される戦略には低い勝率を示した。また、有効な戦略を強化させると、より高い勝率を示した。

これらのことからごいたの戦略や駒の出し方の強弱を有効に計算できると考えられる。よって以下では独自に考案した戦略を検証する際は、同様の方法を用い、高い勝率を示すことで有効であると判断する。

6 独自の戦略についての検証

< 「し」の優先 >

今回我々は攻めを行うときに、「し」の駒の優先順位を高くする戦略を考案した。この戦略を「『し』の優先」と呼ぶことにする。

「し」は32枚中10枚あり、独占が感知されにくく、受けられやすい駒である。そこで「し」をどのように使用するのが有効であるのか、戦略を立てることができる余地があると考えた。

「独占感知」は主に攻めの場合に出す駒の選択をプログラムで反映し、「味方援護」は受けを行うかどうかの選択をプログラムに反映している。そのため、1人のプレイヤーが双方の戦略を併用した戦略（独占・味方）をとることが可能である。また、「しの扱い方」は「独占・味方」のプログラムに付け足す形で検証を行った。

まずプレイヤーは手駒に独占している駒の有無を調べる。もし、独占されている駒がなければ、「し」の駒を優先的に使用する。ここで「5し」のルールによって、プレイヤーの手元には最大4枚の「し」の駒が配布されることに

なっている。そのため、「し」で攻める際に手元に残す枚数で場合分けを行った。

< 結果 >

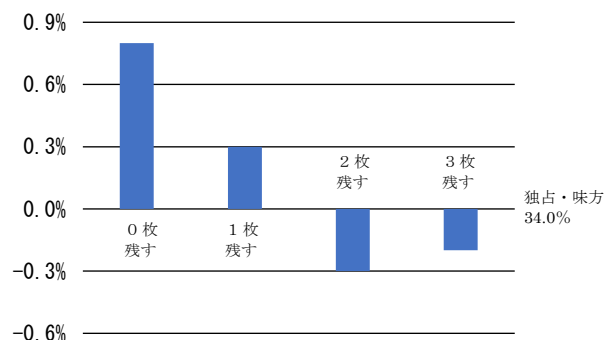


図3 「『し』の優先」の検証結果

「し」の駒をすべて残すということは「しの扱い方」という戦略を使用しないときと条件は変わっていない。すなわち、「独占・味方」の勝率と等しいといえる。そのため、グラフは「独占・味方」の勝率を基準に定め、場合分けした結果を表した。

「0枚残す」ときの勝率が最も高く、「2枚残す」ときの勝率が最も低くなったことが分かる。これらの結果はそれぞれ χ^2 検定で有意な差であると判断ができた。

< 考察 >

結果より、「独占・味方」の勝率と比べて高くなったことから、「し」を優先的に攻めに使用する戦略は有効であるといえる。

< 「し」のはさみ打ち、「し」の狙い打ち >

我々は、攻めの駒の順番を変更しながら勝率を調べていたところ、「し」の優先順位を高くしたプレイヤーと低くしたプレイヤーに挟まれたプレイヤーのうち1人の勝率が高く、1人は勝率が低くなっていることに気づいた。そこで、攻めを行うときにチームの一人が「し」を優先的に攻めに使い、もう一人が強い順で攻めを行う戦略を考案した。これを「『し』のはさみ打ち」と呼ぶことにする。

P1が「し」を優先的に攻めに使い、P3が強い順（「し」の優先順位が最も低い）で攻めを行うように設定した結果、P1の勝率は増加したものの、P2の勝率がより大きく増加し、P3の勝率は減少して、P4の勝率は最も大きく減少した（図4）。

この結果から、この戦略では、「し」を優先して攻めに使うプレイヤーの一つ手前の手番のプレイヤーの勝率を下げる可以考虑。

よって我々は相手のプレイヤーのうち、先に一度攻めを行った者を優勢にあるとみなし、そのプレイヤーの勝率が下がるように「し」の優先順位を変更する戦略を考案した。これを『し』の狙い打ちと呼ぶことにする。

<結果>

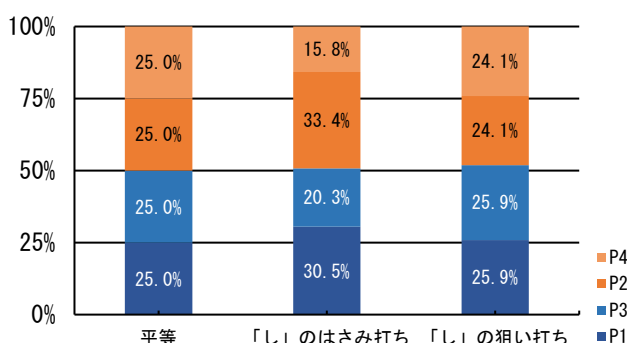


図4 『し』のはさみ打ち、
『し』の狙い打ちの検証結果

チーム全体の勝率が戦略未使用時からそれぞれ0.8%、1.8%上昇した。これらの結果は χ^2 検定によって戦略未使用の場合と比べてそれぞれに有意な差があることが判断できた。

<考察>

結果より、戦略未使用時の勝率と比べて高くなったことから、「し」の優先順位を相手の動きに合わせて高くする戦略は有効であるといえる。また、P1以外のプレイヤーの勝率がP2→P3→P4の順に低くなっていることから、「し」で挟むことによって勝率が変化したのではな

く、「し」は枚数が多く受けやすいため、P1が攻めに出した「し」を受けることができる順番で勝率が高くなっていると考えた。

しかし、この戦略は先述の「独占感知」と同時に使用することができない。また、「独占感知」と比較しても低い勝率を示していることから、高い勝率を得るためには「独占感知」を使用すべきであると言える。

7 結論

今回我々が行った研究の中で最も高い勝率を示したのは、独占感知と味方援護を行いながら、独占がなかった場合に「し」を優先的に攻めに使う戦略であった。

8 今後の展望

本研究において、ごいたを行うときにプレイヤーがする行動として、攻めや伏せのときに出す駒の選択、受けを行うかどうかの選択という2つの選択の場面をもとに戦略を検証した。

しかし、研究を進めていく中でそれらの戦略は初めに配布される手駒に大きく左右されることや親の手駒によっては出し方によって必ず親が勝つ手駒のパターンもあることが分かった。

これからの研究ではプレイヤーに配布される駒の種類によって各戦略の勝率の変化、及び配布された手駒に応じた戦略の使い分けの効果についても勝率の計算方法を利用し、検証をしていきたい。

9 参考文献

(1) 能登ごいた保存会HP

(参照2023-11-24)

<http://goita.jp>

(2) ごいたラボ

(参照2023-11-24)

<https://yoskeoka.github.io>

ドジョウ飼育水における 様々な温度での環境DNA量の経時的変化

班員 柴 葉月、中山 絢乃、松原 慶治、村山 昂輝
担当教諭 谷野 智了

キーワード：環境DNA量、個体数推定、ドジョウ、バクテリア、分解速度

To establish methods for estimating the number of organisms living in the environment based on the amount of environmental DNA, we measured changes in the amount of DNA over time at various water temperatures using loaches rearing water. The results showed that DNA degradation progressed over time, and the lower the temperature, the smaller the DNA degradation rate.

1 はじめに

環境DNAとは川や土壌・空気中などの外部環境中に単独で存在するDNAのことであり、生物の脱落細胞やフン・尿といった老廃物などに由来すると考えられている。環境DNAを用いれば、実際に生物を捕獲し種を同定するといった作業が不要である。水界での環境DNAを用いた調査・分析では、採水し吸引ろ過・フィルターからのDNA抽出・PCRでの増幅・電気泳動を行うことで、バンドの有無を元に対象生物種の生息の有無を確認することができる。さらに、対象生物種だけでなく、次世代シーケンサーを用いて、その河川にいる生物種を網羅的に解析できるような技術開発も進んでおり^{[1], [2]}、環境への負荷が少なく、手軽な調査方法として注目を集めている。

また、リアルタイムPCRを用いればDNAの定量ができ、定量データを元に対象生物種の個体数推定が可能か現在も様々な生物種で研究がなされている^{[3], [4], [5]}。しかし、環境DNA量からの個体数推定の方法の開発にはいくつかの課題がある。まず、水温や水質・その日の天候といった環境条件により、水界生物の活動量や代謝速度が変化し、バクテリアやDNAを含む老廃物の放出速度が変化する。また、老廃物中のバクテリアやその環境に生息しているバクテリアの

DNA分解活性も変化してしまうことが先行研究^[6]でわかっている。

つまり、調査時期や調査場所ごとに環境条件は異なるためDNAの放出速度や分解速度に違いが生じ、DNA量やDNA量から推定される個体数も変化する。従って、DNA量からの個体数推定を行っていくために生物種ごと、季節ごと、場所ごとの環境DNA量の変化を地道に追っていき、できるだけ多くのデータを蓄積する必要がある。

そこで本研究ではまず初めに河川の調査を行い、その調査において特に変化が大きく、先行研究^{[1], [2], [6]}でも環境DNA量との関係について複数報告のあった水温に着目し、各水温における環境DNA量の経時的変化をドジョウ飼育水を用いた実験を行うことで明らかにし、複数の推定方法の確立につなげようとした。

2 材料と方法

〈河川の調査で使用した器具〉

- ・ワイヤレス気象/GPSセンサ（PASC0）
- ・無線温度センサ（PASC0）
- ・ワイヤレスpHセンサ（PASC0）
- ・ワイヤレス比色/濁度センサ（PASC0）

〈実験で使用した器具〉

- ・水槽（縦 28cm、横 58cm、高さ 35.5cm）

- ・容器（縦 15cm、横 30.5cm、高さ 23cm）
〈実験で使用した材料〉
 - ・ドジョウ (*Misgurnus anguillicaudatus*)
 - ・バクテリア入り水質調整剤 (GEX ベストバイオ)
- 〈河川の調査〉

七尾市の御祓川水系の3地点(上流: 37°00' 29.4"N, 136°57' 21.4"E 中流: 37°00' 29.4"N, 136°57' 21.4"E 下流: 37°02' 43.2"N, 136°57' 52.8"E)で2023年の6月から7月にかけて河川的环境条件を調べた。

〈実験1〉

温度と時間経過がDNA量変化に与える影響を検証するために以下の実験を行った。飼育水を3つの容器に8Lずつ分注し、それぞれを、4℃の冷蔵庫、15℃のインキュベーター、ドジョウ飼育時と同じ気温である室温28℃の環境下で保管した。そして、3つの容器の水を、採水後すぐ、1時間、3時間、5時間、8時間、24時間、48時間後に吸引ろ過した。その後は、DNA抽出、リアルタイムPCRを行った(図1)。

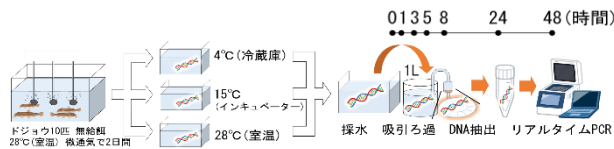


図1 飼育水の保管温度と採水後のワークフロー

〈実験2〉

温度と実験1より長い時間経過がDNA量変化に与える影響を検証するために以下の実験を行った。実験1と同様に保管した3つの容器の水を、採水後すぐ、その後は24時間ごとに6回行い、計7回吸引ろ過した。その後の操作は、実験1と同様に行った(図2)。

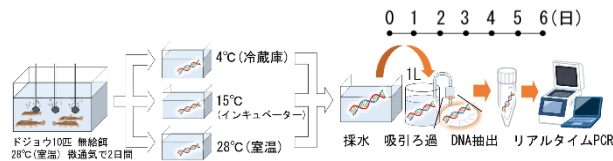


図2 飼育水の保管温度と採水後のワークフロー

〈実験3〉

実験1、2のDNA量変化がバクテリアの働きに

よるものなのか、またバクテリアの量に左右されるのかを検証するために以下の実験を行った。飼育水を2つの容器に8Lずつ分注し、片方の容器のみにバクテリア入り水質調整剤を3mL添加後、どちらも室温28℃の環境下で保管した。それ以外の操作は実験2と同様に行った(図3)。

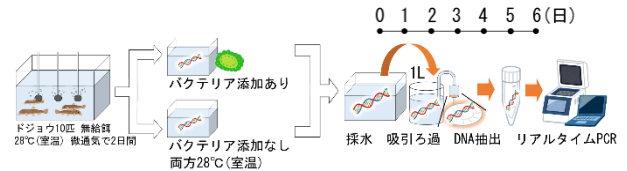


図3 バクテリア添加と採水後のワークフロー

3 結果

〈河川の調査〉

いずれの環境条件もかなり変化していた(表)。水温は、同日・同河川で上流から下流まで調べた結果ではそれほど差がないこと、別日に調査するとかかなり変化があるということがわかった(図4)。

表 河川の調査での環境条件

| | 最高 | 最低 |
|---------------------------|------|-------|
| UVインデックス | 6.3 | 1.03 |
| 太陽照射度 (W/m ²) | 1190 | 182.5 |
| 水温 (°C) | 30.3 | 21.2 |
| pH | 8.63 | 7.74 |
| アンモニア (mg/L) | 0.8 | 0.1 |
| 濁度 (NTU) | 280 | 77 |



図4 御祓川水系における調査地点間・調査日間での水温の違い

〈実験1〉

減少率に大小はあるもののDNA量はどの温度でも2日後までに減少しており、4℃の最終的なDNAは15℃、28℃に比べ多く残存していた(図5)。

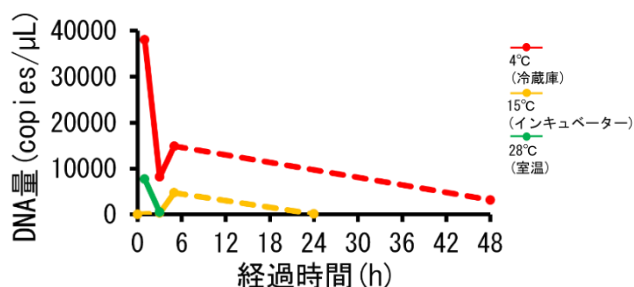


図 5 各温度における 48 時間後までの DNA 量の経時的変化

〈実験2〉

15℃、28℃でのDNA量は2日後までに減少しており、4℃の最終的なDNAは15℃、28℃に比べ多く残存していた（図6）。

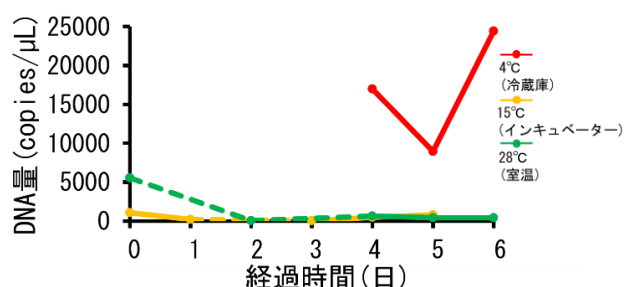


図 6 各温度における 6 日後までの DNA 量の経時的変化

〈実験3〉

バクテリア添加の有無にかかわらず、DNA量は2日後までに減少していた。また、バクテリアを添加した方の容器ではDNAの減少が早かった（図7）。

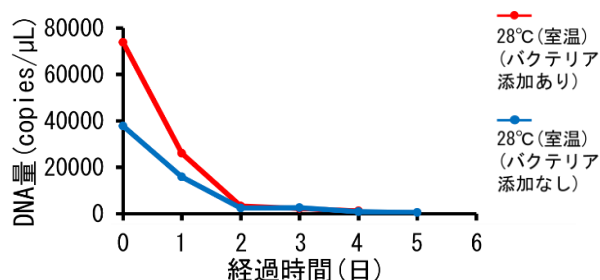


図 7 バクテリアの添加有無における DNA 量の経時的変化

4 考察

河川の調査より、水温は調査河川・調査日による差が大きいことが示唆された。このことから同日・同河川では地点による水温差が小さいため、個体数推定において温度によるDNA分解速度の変化の反映が不要で、時間経過によるDNAの減少のみを反映した推定のみを行えば良いと考えた（図8）。一方で、調査河川や調査

時期・天候が異なる場合は水温の変動が大きい
ため、温度によるDNA分解速度の変化を反映した推定も必要になると考えた。また、今回の実験結果は個体数推定だけでなく、その種の生息の有無の推定にも利用できると考えた（図9）。

実験結果全てで2日後までにはほぼ全てのDNAが分解されてしまう傾向が見られたことから、2日間は河川の中をDNAが漂っている可能性が高いことがわかった。このことより、DNAが分解されるまでの時間と河川の流速から、上流何kmまでの範囲にその種がいるかといった種の生息範囲を絞り込むことができるのではないかと考えた（図10）。

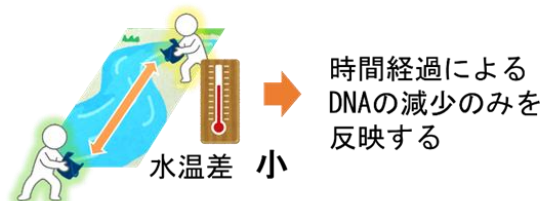


図 8 同日・同河川における時間経過による DNA の減少を反映した個体数推定

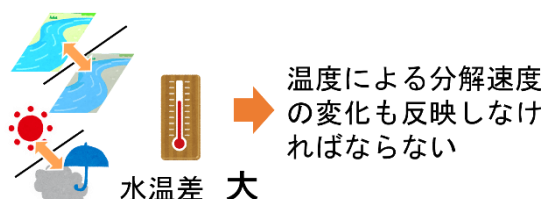


図 9 異なる調査河川・調査時期・天候における温度による DNA 分解速度の変化を反映した個体数推定

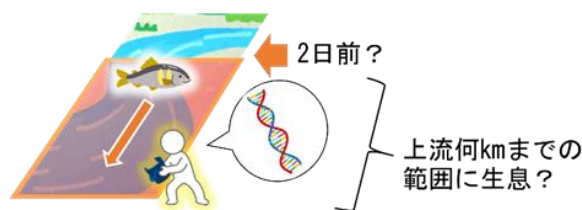


図 10 2 日後までの DNA 量減少について

5 今後の展望

温度設定を細かくして同様の実験を行うことで、温度変化によるDNA量の減少をより正確に比較しようと考えている。

さらに、濃度既知のDNAを滅菌水に添加し、その水をドジョウ飼育水の代わりに用いて、同様の実験を行おうと考えている。これにより、

吸引ろ過や抽出の操作が不要になるだけでなく、実験のスケールダウンや、条件を揃えやすくすることが可能である。そのため、ヒューマンエラーを減らし、DNA量の減少をより正確に検証することが可能になるのではないかと考えた。

1つ目の予備実験では、濃度既知のDNAを添加後すぐに採水・PCR・電気泳動を行いバンドの有無を確認する。この予備実験においてバンドが出れば、人為的に添加した濃度既知のDNAを生物から放出されるDNAと考えることができる(図11)。

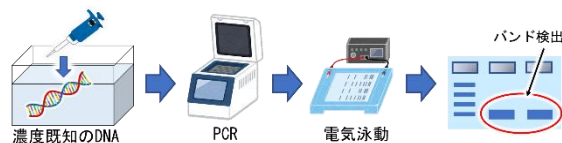


図11 濃度既知のDNAを用いたときのバンドの有無の検証

2つ目の予備実験では、ドジョウ飼育水を用いずに実験を行うときこれまでDNAの分解要因と考えてきた老廃物からのバクテリアが含まれないことからバクテリア入り水質調整剤を用いることを考えた。ドジョウ飼育水に含まれるバクテリアと水質調整剤に含まれるバクテリアが類似したものであるか確認する。そして類似していれば、水質調整剤に含まれるバクテリアをドジョウ飼育水に含まれるバクテリアとみなすことができ、様々なバクテリア濃度とDNA濃度で検証できる実験系を確立することが期待できる(図12)。

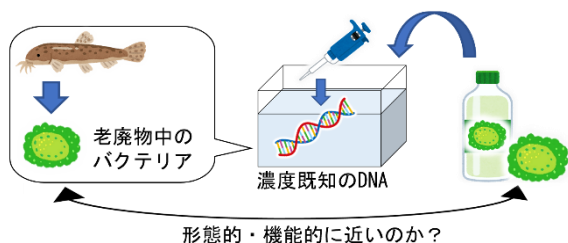


図12 老廃物中のバクテリアと水質調整剤中のバクテリアの比較

6 謝辞

石川県立大学の中谷内修講師、環境公害研究センターの方々には実験や解析の方法についてご指導していただきました。また、リアルタ

イムPCRを使用させていただいた他、プライマーの提供もしていただきました。深く感謝いたします。

7 参考文献

[1]山中裕樹, 源利文, 高原輝彦, 内井喜美子, 土居秀幸. 2016. 環境DNA分析の野外調査への展開. 日本生態学会誌 66(3), 601-611

[2]高原輝彦, 山中裕樹, 源利文, 土居秀幸, 内井喜美子. 2016. 環境DNA分析の手法開発の現状～淡水域の研究事例を中心にして～. 日本生態学会誌 66(3), 583-599

[3]河野誉仁, 赤松良久, 後藤益滋, 乾隆帝. 2017. 環境DNAを用いたアユの定量化と降下状況モニタリングの試み. 河川技術論文集 23, 669-674

[4]Keiichi Fukaya, Hiroaki Murakami, Seok jin Yoon, Kenji Minami, Yutaka Osada, Satoshi Yamamoto, Reiji Masuda, Akihide Kasai, Kazushi Miyashita, Toshifumi Minamoto, Michio Kondoh. 2020. Estimating fish population abundance by integrating quantitative data on environmental DNA and hydrodynamic modelling. Molecular Ecology 30(13), 3057-3067

[5]平岡礼鳥, 市川哲也, 今尾和正, 宮向智興, 高倍昭洋, 田中義人, 鈴木輝明. 2022. 飼育実験によるタイワンガザミの環境DNA分解速度と放出速度の算出. 水環境学会 45(5), 223-230

[6] Lance, R. F., Klymus, K. E., Richter, C. A., Guan, X., Farrington, H. L., Carr, M. R., Thompson, N., Chapman, D. C., Baerwaldt, K. L., 2017. Experimental observations on the decay of environmental DNA from bighead and silver carps. Management of Biological Invasions 8(3), 343-359

人工傷をつけた葉の成長段階と抑制効果の関係について

班員 黒崎 孝太、中島 汐莉、中山 善仁、萬谷 実央
担当教諭 高橋 玄季

キーワード：傷をつけた葉、発芽、成長、成長段階、抑制効果

The effect of artificially wounded leaves on the growth of other individuals of the same species was examined. Results suggest that there is a relationship between the growth stage of artificially wounded leaves and the inhibitory effect. Also it was suggested that cabbage released substances that inhibited the growth of other individuals for about 7 days after artificial wounding.

1 はじめに

植物間コミュニケーションとは、植物が虫に害された際、害されていない他個体に対して、化学物質を介して影響を及ぼすことである(図1)。化学物質を受け取った個体は防御物質を作るといった反応を示す。例えば、シロイヌナズナは、食害を受けた個体から放出されたβオシメンなどの揮発性物質を近隣の他個体が感知すると、防御遺伝子の転写レベルが増加することがわかっている。

また、ハンノキは人工的に切られた場合に、切られていない他個体の害虫に対する抵抗性が高まることがわかっており、虫の食害でなくても、植物間コミュニケーションと同様の反応が起こると考えられている。

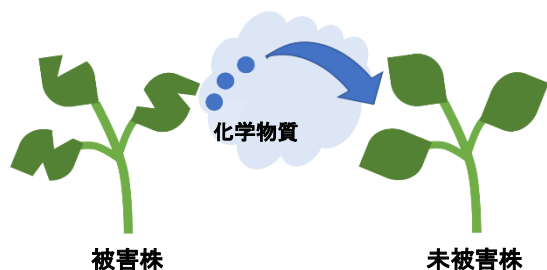


図1 植物間コミュニケーション

本研究を始める前に、以下の予備実験を行った。短期間で簡単に育つカイワレダイコンを使用し、ろ紙を用いて、カイワレダイコンの種子

を発芽させた。その際、ろ紙の中央にハサミで切ったカイワレダイコンの葉を置いたもの、すりつぶした葉を置いたもの、何も置かなかったものの3種類を用意した。7日間観察したところ、7日後の芽の長さは、無処理の個体、切った葉を置いた個体、すりつぶした葉を置いた個体の順に大きいようにみえた。また、芽の伸び方にも違いがあり、すりつぶした葉を加えた場合、茎がまっすぐに伸びなかった(図2)。この実験から、傷つけられた葉は、他個体の成長に何らかの影響を与えると考えた。

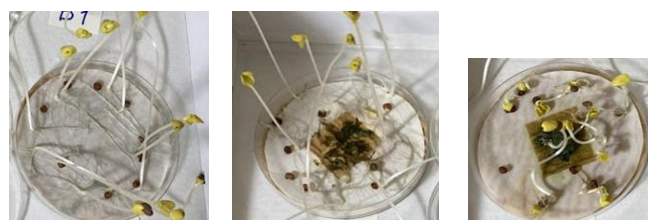


図2 7日後の芽の様子
(左：無処理区、中央：切った葉、右：すりつぶした葉)

予備実験より、植物が人工的に害された際に起こる他個体への影響として、害虫に対する抵抗性が高まる以外の反応があると考え、同種他個体の成長の仕方への影響を調べることを目的として研究を行った。

2 材料と方法

〈実験1〉

カイワレダイコンの葉が同種他個体の発芽に与える影響を、サンドイッチ法で調べた。

○材料

カイワレダイコン

○方法(サンドイッチ法)

0.50%の質量パーセント濃度の寒天培地の中に、無処理の葉、1cm角に切った葉、すり鉢ですりつぶした葉を入れた。その上にカイワレダイコンの種子を9つ並べた(図3)。比較対象として、何も入れない寒天培地を作った。温度20℃、湿度100%に設定したインキュベーターに入れ、7日後に芽の長さを測定した。

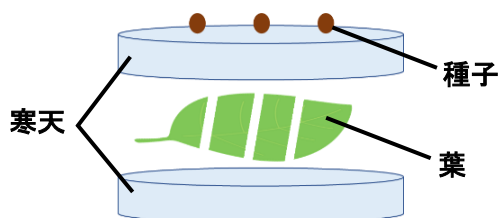


図3 サンドイッチ法のモデル図

〈実験2〉

切った葉から出る物質が同種他個体の発芽に与える影響をサンドイッチ法で調べた。

○材料

カイワレダイコン、キャベツ、レタス、チンゲンサイ、ハクサイ

○方法

寒天培地の作り方、温度や湿度、実験期間は、実験1と同じにして行った。寒天培地の中には、植物の葉をハサミで1cm角に切ったものを3gずつ入れ、その上に同種の種子を並べた。カイワレダイコンの結果は、実験1のものを使用した。

〈実験3〉

キャベツの若い葉を切った場合の、同種他個体の苗に与える影響を調べた。

○材料

キャベツ

○方法

プランターにすべての葉を半分切り取った

キャベツの苗2株を植え、その両側に無処理の苗を2株ずつ、計4株植えた。比較対象として、別のプランターにも無処理のキャベツの苗を4株植えた(図4、図5)。2、3日おきに苗の高さを測定した。



図4 処理区の苗



図5 無処理区の苗

3 結果

〈実験1〉

処理区A(切った葉)と無処理区、処理区B(すりつぶした葉)と無処理区間に有意差があった。いずれも無処理区の方が有意に長かった($p < 0.05$, Kruskal-Wallis test)(表1、図6)。

表1 実験1の7日後の芽の長さ(cm, 平均±標準偏差、N=9)。

| | |
|-------------------|-------------|
| 処理区A (切った葉) | 6.37 ± 0.80 |
| 処理区B (すりつぶした葉) | 5.4 ± 1.32 |
| 処理区C (無処理の葉) | 6.76 ± 1.79 |
| 無処理区 | 7.74 ± 0.65 |

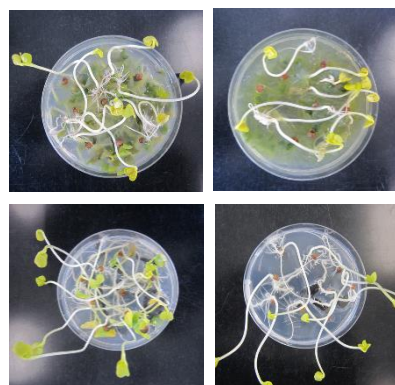


図6 実験2の7日後の芽の様子

〈実験2〉

カイワレダイコンは、実験1の通り処理区で有意に短かった ($p < 0.01$, t-test) が、他の4種類の植物では有意差はみられなかった (図6～10、表2)。

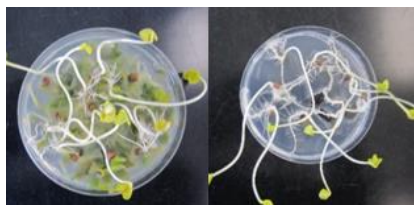


図6 実験2の7日後の寒天培地の様子
カイワレダイコン (左: 処理区、右: 無処理区)

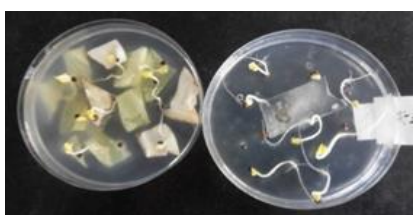


図7 キャベツ (左: 処理区、右: 無処理区)

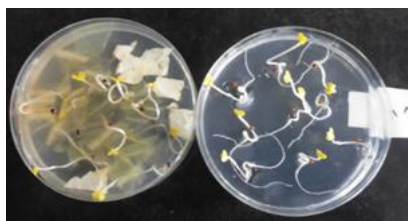


図8 レタス (左: 処理区、右: 無処理区)

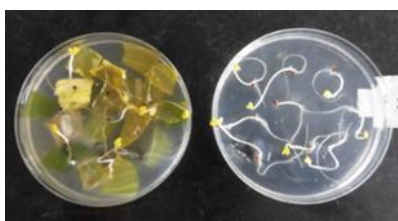


図9 チンゲンサイ (左: 処理区、右: 無処理区)



図10 ハクサイ (左: 処理区、右: 無処理区)

表2 実験2の7日後の芽の長さ (cm, 平均±標準偏差、N=9)。

| | 処理区 | 無処理区 |
|----------|-----------|-----------|
| カイワレダイコン | 6.37±0.80 | 7.74±0.65 |
| キャベツ | 1.25±1.04 | 2.02±1.25 |
| レタス | 4.69±1.20 | 5.48±0.62 |
| チンゲンサイ | 3.49±1.06 | 3.24±1.47 |
| ハクサイ | 4.07±0.66 | 3.89±0.40 |

〈実験3〉

初日から7日目までの伸びは処理区の方が有意に短かった ($p < 0.05$, t-test)。しかし、10日目以降には有意差は見られなくなった。

処理区における10日間の伸びは、葉を切った苗の左側に植えた2株の方が有意に短かった ($p < 0.05$, t-test)。

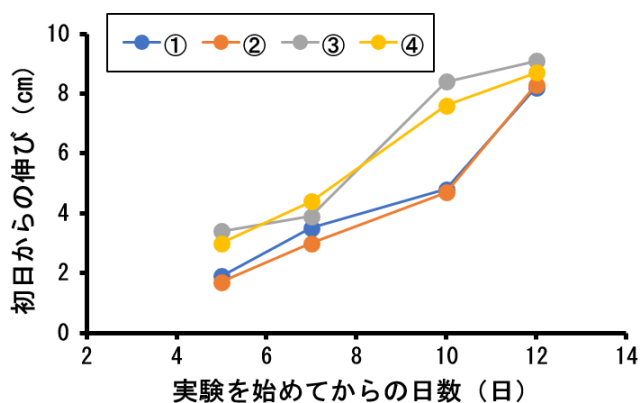


図11 処理区の個体の伸びの長さ。
①～④は、図4の各株と対応する。

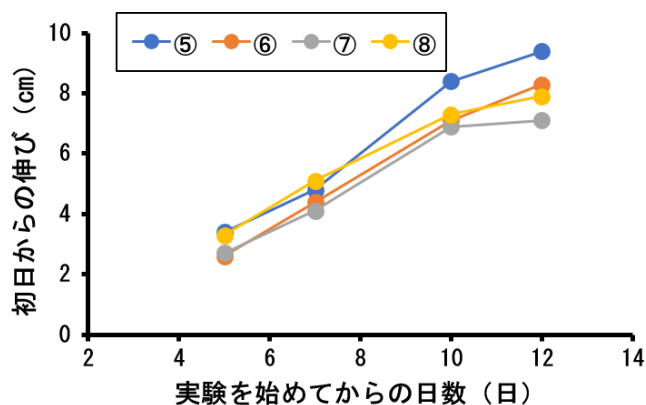


図12 無処理区の個体の伸びの長さ。
⑤～⑧は、図5の各株と対応する。

4 考察

〈実験1〉

処理区①②と無処理区には有意差があり、処理区③と無処理区には有意差がなかったことから、傷つけられた葉から出る物質が、他個体の成長の抑制に関わっていることが示唆される。またサンドイッチ法で行ったことから、成長を抑制する物質は、葉に含まれる水溶性物質と考えられる。

〈実験2〉

実験に用いた5種類の植物のうち、カイワレダイコンは成長初期の葉を使ったが、他の5種類の植物は成長が進んだ葉を使った。今回の実験でカイワレダイコンのみで抑制効果を示したことから、傷をつけた葉の成長段階と抑制効果には関係があり、若い葉が傷つけられると他個体の成長が抑制されることが示唆される。

〈実験3〉

キャベツでは葉を切って7日後に影響が見られ、時間がたつと見られなくなった。このことから、7日目までは成長を抑制する物質が出ていたが、7日目以降は葉の切り口が修復し、物質が出ていなかったことが示唆される。

また、10日目の処理区において、個体の片側（③④の側）では抑制効果を多く受け、もう片側（①②の側）は効果が少なかった。この理由として、実験を屋外で行ったために、風の影響により、葉から揮発した物質が一方向に流れ、濃度が片寄った可能性がある。同様の実験をする際には、この点を考慮して行う必要がある。

これらの考察から、周囲の植物が食害を受けたことを何らかの物質を通じて察知した他個体が、周りに害虫がいるタイミングで芽を伸ばすのを避けている、または、先行研究で明らかになっているような防御応答に専念するために芽の伸長が遅れている可能性がある。さらにサンドイッチ法の結果からは、葉が傷つけられ

たときに生成される物質は根から吸収した場合でも効果を示すことが示唆された。

5 今後の展望

他個体の成長が抑制された原因を突き止めるために、葉が傷つけられたときに生成される物質を直接寒天培地に加えて発芽させ、芽の成長が抑制されるのかを調べたいと考えている。また、実験3の、プランターに植える個体数を揃えた上で、風のない環境下での実験や、故意に片側だけに風を当てる実験を行い、他個体の成長抑制に風の影響があるのか、揮発性物質が関わっているのかを明らかにしたい。

6 参考文献

- (1) 塩尻かおり．かおりの生態学 -葉の香りがつなげる生き物たち-．共立出版．2021．
- (2) 被食者の匂いに応答した植物の防御反応発現メカニズムを解明～植物間コミュニケーションによる害虫抵抗性の向上機構の一端が明らかに～．東京理科大学．2022.03.10．
https://www.tus.ac.jp/today/archive/20223039_2590.html（参照2023-12-7）

剣道の面に繁殖する菌に対する消臭剤の効果

班員 石田 こころ、大島 寛次郎、中川 そら、番坂 昊生
担当教諭 吉村 彰志

キーワード：剣道防具、消臭

In this experiment, bacteria on kendo protective gear were cultured and the disk diffusion method was used to investigate the effectiveness of deodorant sprays on different parts of the protective gear. The effectiveness of the deodorant sprays differed depending on the type of deodorant spray and the part of the protective gear.

1 はじめに

本研究では、剣道防具の消臭について、消臭スプレーの、細菌に対する効果とその成分について調べた。

一般に剣道防具は色落ちや革の縮みを避けるため、水洗いをするのはほとんどない。そのため細菌が繁殖しやすくなり、防具は悪臭がするようになる。今回は防具のうち面に着目し、部位ごとに繁殖する細菌種と殺菌・消臭に効果的な成分を明らかにすることを目的とした。

2 実験方法と材料

<実験1>

- ・普段使用している剣道防具（面）
- ・サブロー寒天培地
- ・LB寒天培地
- ・綿棒
- ・コンラージ棒
- ・ガスバーナー

1週間消臭スプレーをかけずに使用した面の頭、側面、顎、喉にあたる部分を綿棒で拭き取り、細菌を採集した。ガスバーナーをつけ、上昇気流を作ることによってクリーンベンチ環境を作り、これをサブロー寒天培地、LB寒天培地にコンラージ棒で擦った。これらを、35℃に保ったインキュベータ内で培養した。その後1週間、毎日4時半に観察し、撮影した（図1、図2）。

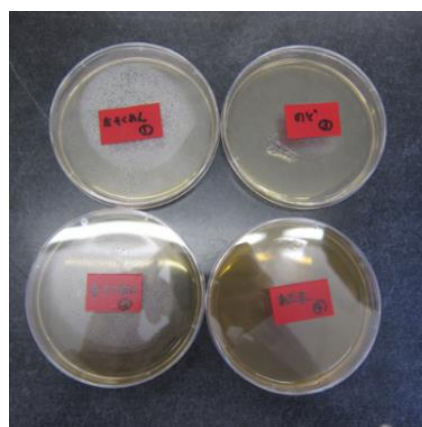


図1 細菌を塗布したサブロー寒天培地

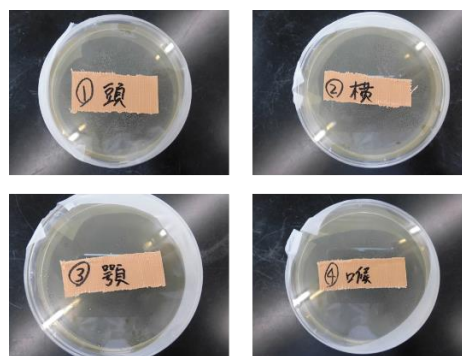


図2 細菌を塗布したLB寒天培地

<実験2>

- ・実験1で培養した顎と喉の細菌
- ・LB寒天培地
- ・生理食塩水
- ・G2tam α （株ピースアンドキューズ）
- ・ろ紙
- ・コンラージ棒
- ・ガスバーナー

G2tam α を用いてディスク拡散法で感受性実験を行った。ガスバーナーを用いてクリーンベンチ環境を作り、実験1の顎と喉の細菌を濃度0.9%の生理食塩水に混ぜ、コンラージ棒でLB寒天培地に塗った。その上にG2tam α をしみこませ、自然乾燥させた直径5mmのろ紙を置いた。2日間経過を観察し、ろ紙の周りにできた阻止円の直径を計測した(図3)。

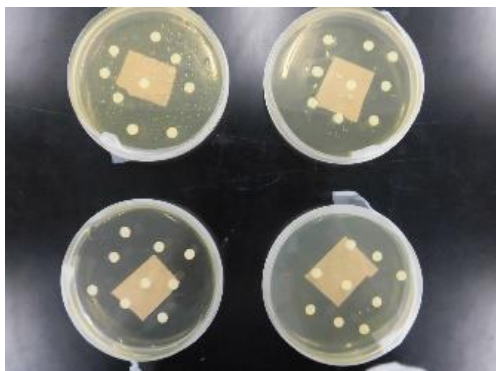


図3 ディスクを置いた培地

<実験3>

- ・実験1で培養した各部位の細菌
- ・LB寒天培地
- ・生理食塩水
- ・ファブリーズ(W除菌消臭スプレー)
- ・ろ紙
- ・コンラージ棒
- ・ガスバーナー

ファブリーズを用いて、実験2と同様の手順で実験を行った。また、実験1の顎と喉の細菌に加え、顎と側面から採取した細菌を用いた(図4)。実験2では、顎と喉の細菌の繁殖状況が最も異なっており、違う種類の細菌だと考えていたため、顎と喉の細菌のみ実験を行ったが、実験3ではすべての細菌で実験を行った。

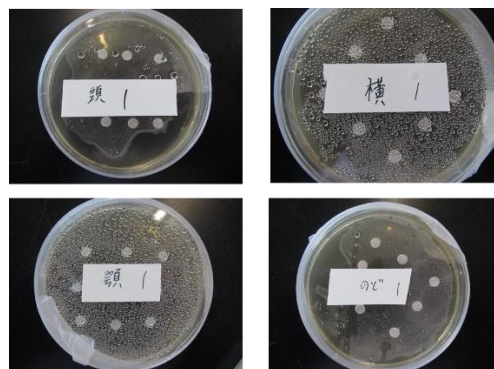


図4 ディスクを置いた培地

<実験4>

- ・実験1で培養した各部位の細菌
- ・カメラ付実体顕微鏡
- ・スライドガラス
- ・クリスタルバイオレット溶液
- ・ヨード溶液
- ・95%濃度エチルアルコール溶液
- ・サフラニン溶液

実験1で培養した4つの各部位の細菌を用いて、グラム染色法を行った。それぞれの部位で見られた細菌ごとに調べた。

3 結果

<実験1>

全てのサブロー寒天培地で細菌のコロニーは見られなかった。

LB寒天培地では、実験から1日後に全ての培地で細菌のコロニーが観察できた。細菌の繁殖状況はそれぞれ異なっていた。すなわち、顎では、クリーム色のコロニーが点状に6個見られた。側面では、クリーム色の細い線上のコロニーが15個見られた。顎では、側面と同様のコロニーが6個見られた。喉では、クリーム色の大きいコロニーが点状に多量に見られた。(図5)

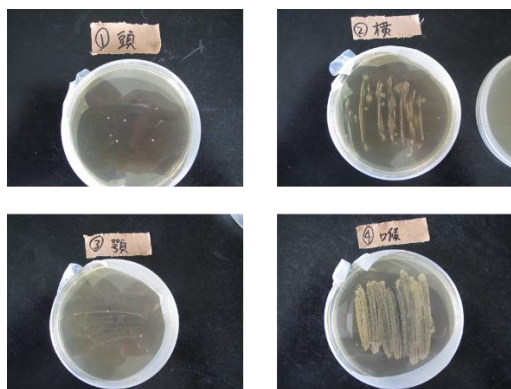


図5 1日後のLB寒天培地の様子

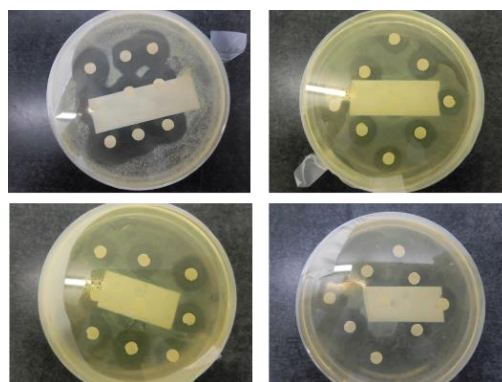


図8 2日後の培地の様子

<実験2>

2日後に観察したところ、全ての培地で阻止円が見られた。阻止円の直径は喉が $13.1 \pm 4.58\text{mm}$ 、顎が $12.1 \pm 1.15\text{mm}$ であり、顎より喉で有意に大きかった ($p < 0.05$, T検定) (図6、図7)。

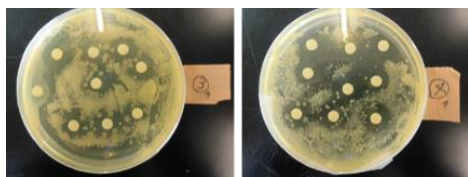


図6 2日後の培地の様子

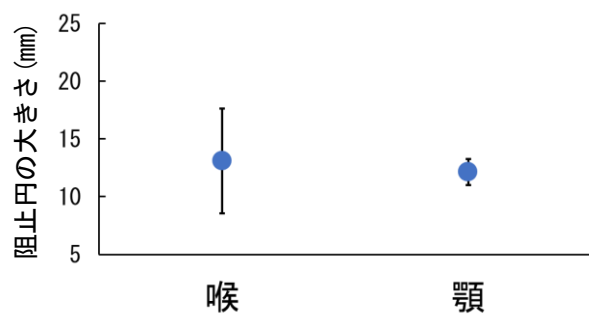


図7 G2tamαの比較

<実験3>

2日後に観察したところ、全ての培地で阻止円が見られた。阻止円の直径は頭が $17.0 \pm 2.09\text{mm}$ 、側面が $14.5 \pm 1.08\text{mm}$ 、顎が $15.0 \pm 0.96\text{mm}$ 、喉が $14.1 \pm 0.73\text{mm}$ であり、面の頭で有意に大きかった ($p < 0.01$, 分散分析, $p < 0.05$, HSD法) (図8、図9)。

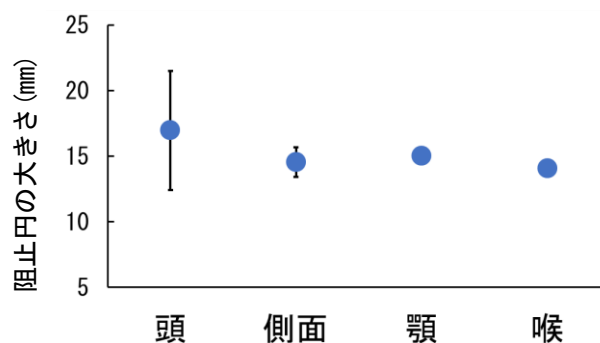


図9 ファブリーズの比較

G2tamαを用いた実験2の顎と喉の結果とファブリーズを用いた実験3の顎と喉の結果を見ると、どちらもファブリーズのほうが有意に阻止円が大きかった ($p < 0.05$, T検定) (図10、図11)。

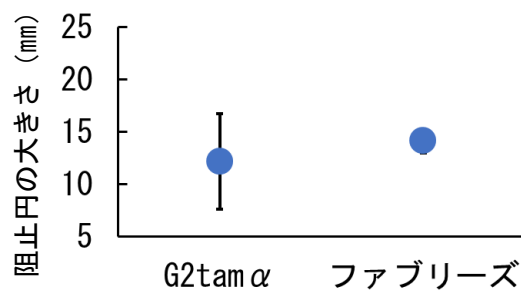


図10 顎でのG2tamαとファブリーズの比較

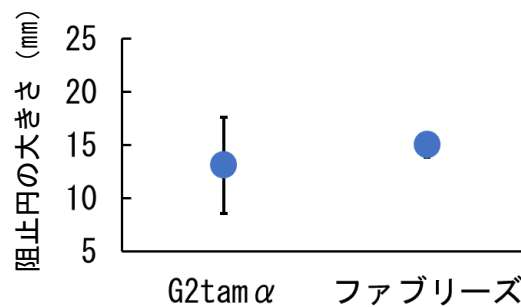






図11 喉でのG2tamαとファブリーズの比較

<実験4>

頭ではグラム陰性球菌が、側面ではグラム陰性菌が存在していた。顎と喉では細菌の種類はわからなかった。4つの各部位でそれぞれ異なる結果が得られたことから、部位ごとに存在する細菌は異なると考えられる。(表1、図12、図13)

表1 グラム染色法の結果の見方

| | グラム陽性(青) | グラム陰性(赤) |
|-------|---|---|
| 球菌(丸) |  |  |
| 桿菌(線) |  |  |

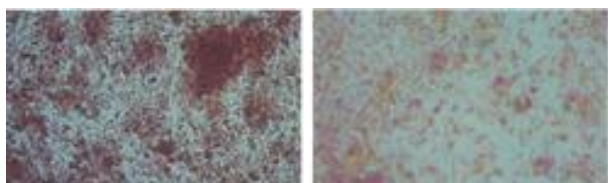


図12 採取した細菌の顕微鏡写真
(左から頭、側面)

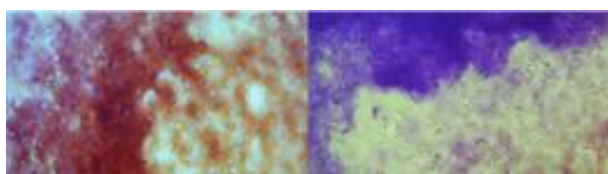


図13 採取した細菌の顕微鏡写真
(顎×2)



図14 採取した細菌の顕微鏡写真(喉)

4 考察

実験1～3の結果から、2つの消臭スプレーで、効きやすい細菌種が異なることが示唆された。また、ファブリーズを使った方が有意に阻止円が大きく、ファブリーズのほうが効果が大きいと考えられる。さらに実験4の結果から、部位ごとに存在する細菌は異なると考えられる。

5 結論

防具の部位ごとに存在する細菌は異なっていたが、全体的にファブリーズのほうが効果が高く、比較的手に入りやすいため防具の消臭に向いているといえる。効果の要因となる成分については、現在研究中である。

6 参考文献

- 1) 田中和幸, 奈良真孝, 加藤 希, 柴田紘三郎, 井川正治: 剣道防具「面」の細菌叢の基礎的研究: 細菌の抗真菌効果について, 日本体育大学横浜健志台キャンパス電子顕微鏡室(2010)。
- 2) 鈴木智順: 見ながら学習 調べてなっとく ずかん 細菌, 株式会社技術評論社(2016)

ブタナの傾性運動に影響する環境要因

班員 奥野 幹生、垣内 颯真、林 瑞樹、増野 悠美
担当教諭 小林 広典

キーワード：ブタナ 傾性運動 環境要因

Leaning is the tendency of a plant to bend in a certain direction. We conducted experiments under different temperature, humidity, and light conditions to determine the conditions under which tending movements of *Hypochaeris radicata* occur. The results showed that light conditions and temperature affected the tending movement of the *Hypochaeris radicata*, while humidity did not.

1 はじめに

傾性運動とは外部からの刺激を受けて植物器官が屈曲することであり、刺激の方向とは無関係に、いつも一定方向へ運動することである。傾性の種類には傾光性、傾熱性、傾震性、傾触性などがあるが、オジギソウの葉の開閉運動のように、種々の傾性反応を示しても運動の仕組みは同じものがある。傾性運動を行う植物としてオジギソウやチューリップ、セイヨウタンポポが挙げられる。例えば、チューリップは17～25℃になると開き、8～16℃になると閉じるといったように温度により傾性運動を行うということがわかっている。

私たちは、自然に生えているブタナの開き具合が日によって違うことに気づいた。朝はブタナの花が開いていて、夜は閉じている様子が観察された。そのためブタナの開き具合に影響する外部環境の違いは時間帯、天気の違いではないかと推測した。さらに詳しく知るために先行研究を調べてみたところ、花の傾性運動には、温度や照度、時間の経過が影響しているとわかった。

これらのことから、ブタナの傾性運動にこれらの条件が影響するのかを調べるために温度、光の条件を変えて以下の実験を行った。また、天気に関係しているという推測から、湿度の条件も変えて実験を行った。

2 材料と方法

〈使用した材料〉

- ・ブタナ (*Hypochaeris radicata*)



図1 上から見たブタナ



図2 横から見たブタナ

キク科エゾコウゾリナ属。

多年草、虫媒花。

ヨーロッパ原産の外来種外見はタンポポに似ている。

虫媒花とは、虫、主に昆虫を媒介して受粉を行う植物のことである。ブタナは主に牧草地、畑地、芝地、荒地、路傍に生息している。

実験には、当日の朝採集した個体を使用した。

- ・コニカルビーカー (iwaki)
100mlのものを使用した。

〈使用した機器〉

- ・電子冷熱恒温恒湿器THR030FA - 1604

(株式会社東洋製作所)

以後、温度インキュベーターと呼ぶこととした。

温度・湿度を一定に保つことができる機械。
機械内部は光源がなく暗い。

・卓上型人工気象器 LH-80LED-DT
(日本医化器械製作所)

以後、光インキュベーターと呼ぶこととした。
照度、温度を一定に保つことができる機械。

〈花の開き具合の点数付け〉

点数は事前に開き具合を下の図のように0から10までの11段階に分けて定義した。一番開いている状態を10、閉じている状態を0とした。0～10の間の点数については、ふさわしい個体を見つけ、それをもとに作成した。

この図をもとに実験後のブタナの開き具合を記録した。

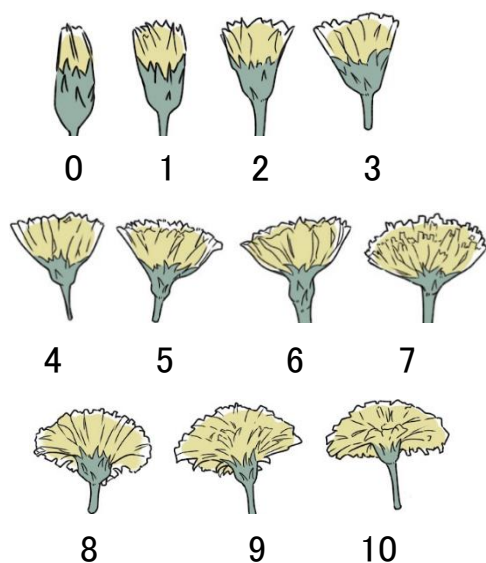


図3 ブタナの開き具合の段階

実験の手順〈すべての実験で共通〉

- ① 水を40ml入れたビーカーを5つ用意した。
- ② 各ビーカーにブタナを2本ずつ入れた。
(各ビーカーに入れたブタナの一方に赤いテープに印をつけ、識別しやすいようにした。)
- ③ インキュベーターを一定の条件に設定し、その後ブタナをインキュベーター内

に入れた。

- ④ 1時間ごとに撮影した。
- ⑤ 写真をもとに開き具合を記録した。
- ⑥ これらを3日間行った。

〈実験1〉

温度がブタナの開き運動に影響するかを調べるために行った。10℃、20℃、30℃の条件で、温度以外の条件は変えずに湿度60%に設定した。温度インキュベーターを用いて手順①～⑥を行った。

〈実験2〉

湿度がブタナの開き運動に影響するかを調べるために行った。30%、50%、70%、90%の条件で、湿度以外の条件は変えずに温度30℃に設定した。温度インキュベーターを用いて手順①～⑥を行った。

〈実験3〉

光がブタナの開き運動に影響するかを調べるために行った。明所と暗所で温度は30℃に設定した。光インキュベーターを用いて手順①～⑥を行った。

3 結果

〈実験1〉

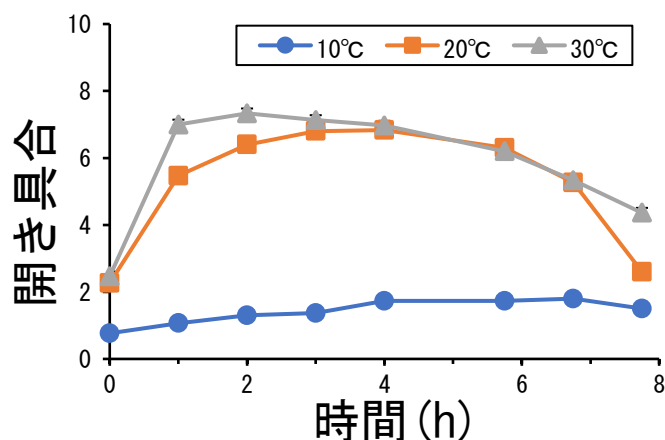


図4 温度を変化させたときの時間の経過に伴うブタナの花の開き具合の変化

10℃でのブタナの花の開き具合と 20℃、

30℃でのブタナの花の開き具合には大きな差が出た。二元配置分散分析より、温度と時間のどちらがブタナの花の開き具合に影響するかを見たところ、どちらも影響していた。

〈実験1〉より、温度と時間がブタナの傾性運動に影響した。

〈実験2〉

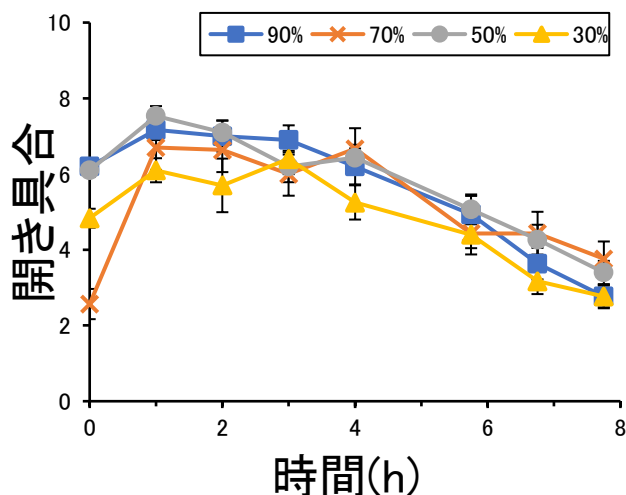


図5 湿度を変化させたときの時間の経過に伴うブタナの花の開き具合の変化

どの湿度の条件でもあまり差はみられなかった。二元配置分散分析で湿度と時間のどちらが影響しているかを見たところ、湿度がブタナの傾性運動に影響しないが、時間は影響しているという結果となった。

〈実験2〉より、湿度は傾性運動に影響しないが、時間は影響するということが分かった。

〈実験3〉

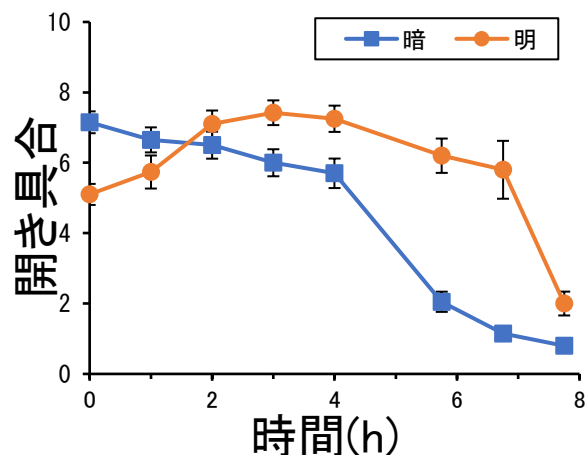


図6 湿度の条件を変化させたときの時間の経過に伴うブタナの花の開き具合の変化

4～5.75時間で大きく閉じ、明所では6.75～7.75時間で大きく閉じているということがわかった。二元配置分散分析で光と時間のどちらが影響しているかみたところ、光と時間どちらも影響しているという結果がでた。

〈実験3〉より、光と時間がブタナの傾性運動に影響するということがわかった。

これらの実験より、ブタナの傾性運動には温度と光が影響し、湿度は影響しなかった。

また、時間もブタナの傾性運動に大きく影響した。

4 考察

先行研究より、花の開閉においての傾性運動は概日リズムによって行われており、そこに環境要因が関係し、花の開き具合が決まると知られている。今回の実験はこれを支持する結果となった。

実験結果より、傾性運動は調べた環境要因よりも時間の影響が大きかったと分かる。また、実験で使用し、夕方閉じていた個体が、次の日の昼頃に開いていることが観察された。このことは、概日リズムの影響を強く示唆する。

実験結果より、ブタナの花は、暖かく明るいときに長く開く傾向にあった。また、実験のときに花の中からアザミウマの一種がよく見付き、訪花昆虫として働いている可能性がある。アザミウマとは、アザミウマ目に属する昆虫の総称で別名をスリップス、まとめてアザミウマ類と呼ばれる。体長1～2mm程の微小な昆虫で、細長い胴体と頭部を持ち、頭部からは2本の触覚が伸びている。先行研究よりアザミウマを含む昆虫類は、暖かく明るいときに活性が高いことが知られている。今回暖かく明るいときに花が長く開いたのはこうした昆虫の送粉の行動と関係しているのかもしれない。

5 今後の展望

1. メカニズムについて調べる。

〈実験1〉や〈実験2〉の結果より、温度や光の条件を変えた時のブタナの細胞の変化を観察し、どのようなメカニズムで開閉しているのかを調べる。また今回のような実験よりも変化が著しくみられると考えられるため、より正確な実験結果が出ると思われる。

2. 虫媒花による影響を調べる。

ブタナの開閉時の訪花昆虫の数や種類を観察することによって調べる。観察している際に、ブタナに訪花していると分かった訪花昆虫の活発に動く条件を調べる。それらの条件が今研究のブタナの傾性運動に影響した条件と同じであれば、ブタナは訪花昆虫にあわせて花を開閉させていると結論づけることができる。

訪花昆虫に合わせてブタナが花を開閉していると仮定したときに、温度や湿度、光以外にも訪花昆虫の動きを制限する要因である風があるときのブタナの動きを観察する。

3. 概日リズムによる影響を調べる。

今回の実験では、朝から夕方までを通しての実験しか行わなかった。この実験では概日リズムが影響しているかどうかは判断できないため、複数日を通しての実験を行う必要がある。そのため、2〜3日かけて実験を行い、ブタナの様子を観察する。

4. 条件の変化による傾性運動への影響を調べる。

今回の実験では、時間や条件がブタナの傾性運動に影響したとは言いきれない。そのため各条件を一定時間ごとに変えて条件の変化に伴って開き具合の変化が観察されたら条件が傾性運動に影響すると言える。時間ごとに条件を変え、それによって、ブタナの開き具合が変わるのか観察をし、条件によってブタナの開き具合が変わるかどうかを観察する。

6 参考文献

鈴木昌友, 丸山友一, 長岡勝典(1993). 花の開閉運動の教材化. 茨城大学教育実践研究 12: 113-124.

正木進三(1991). 昆虫の気候適応. 北日本病害虫研究会報. 42: 1-4.

戸梶(垣内)加奈子・中尾 史郎(2020). チャノキイロアザミウマ(アザミウマ目:アザミウマ科)C 系統の発育と生存に及ぼす温度の影響. 日本応用動物昆虫学会誌(応動昆). 第64巻 第4号: 157-164

佐藤 真紀, 須藤 誠一(2013). タンポポの概日リズムと微視的花弁表面形状の関係. 第13巻 第4号: 353-359

京都大学 大学院生命科学研究科 遠藤 求. (2018) 植物における温度受容体の探索
Searching for a thermoreceptor in plants

須藤誠一, 石本志高, Stephanie NIX

国立研究開発法人 国立研究開発所
侵入生物データベース>日本の外来生物>維管束植物>ブタナ
<http://www.nies.go.jp/index-j.html>

コンクリートの中性化を防ぐには

班員 鍋島 琴美、秦 咲空、羽多 麻尋、松田 愛加
担当教諭 高橋 潤哉

キーワード：セメント、供試体、中性化、pH

We researched how to prevent the deterioration of concrete through neutralization. We made mortar spread with oil or ethanol, and no spread. After that, we put them in an air or desiccator filled with carbon dioxide and observed the progress of neutralization. As a result, only mortar spread ethanol neutralized, so we found that it is possible to prevent neutralization by protecting concrete from contact with volatile substances.

1 はじめに

近年、地球温暖化抑制に向けて二酸化炭素排出量の削減が目標に掲げられている。セメント産業では、1トンのセメントを作る度に770kgの二酸化炭素が排出される。私たちは、セメント産業における二酸化炭素排出量の削減は、コンクリートの劣化を抑え、コンクリート自体の生産量を抑えることで実現できると考えた。

コンクリートの劣化原因には凍害、塩害、アルカリシリカ反応、中性化の4つがあげられる。塩害については、先行研究からCaClなどの塩化物イオンを含む塩のセメントの強度が低いことが分かっている。そこで私たちは、残りの3つの原因のうち自分たちで実験が可能だと考えた中性化について研究を始めた。現在、コンクリートの中性化を抑制する方法としてシラン系表面含浸材が開発されているがまだまだ実用性は低い。そこで私たちは、身近なものでコンクリートの中性化を抑制する方法について研究を進めた。

コンクリートの中性化については、コンクリートに含まれる水酸化カルシウムが二酸化炭素と反応することで炭酸カルシウムが生成され、コンクリートのpHが下がることで中性化が進む。現在、多くの建造物では鉄筋コンクリートが主流となっている。その鉄筋コンクリートにおいて中性化が進むことで強アルカリ性により生成されていた鉄筋の不動態被膜と呼ば

れる保護膜が破壊され、鉄筋が活性状態になる。これにより鉄筋腐食が始まり体積が膨張することで、内側からコンクリートがおされ。コンクリートがひび割れ、劣化する。

2 本研究において

セメントと練り混ぜ水の比率はメーカーの指定量に従い、100：17とした

耐久性は乾燥に伴う質量減少（以降乾燥収縮）を指標とした

セメントペーストとはセメントと水を混ぜたものである。

モルタルとはセメント、水、細骨材（砂）を混ぜたものである。

コンクリートとはセメント、水、細骨材、粗骨材（砂利）を混ぜたものである。

湛水養生とは周囲の型枠をあらかじめ高くしコンクリートの上面に水を張る方法であり、非常に養生効果が高い。

水中養生とは $20\pm3^{\circ}\text{C}$ に保った水中または湿度100%に近い湿潤状態で行う方法であり、空气中で養生するよりも温度変化が小さく精度が高い

3 実験

〈実験1〉耐久性比較実験

（1）使用材料

・日曜セメント（家庭化学工業株式会社）

・練り混ぜ水

純水

pH4に調整した硫酸水溶液

pH11に調整した水酸化ナトリウム水溶液

(2) 供試体の作成

200gのセメントに34mLの練り混ぜ水3種類をそれぞれ別のセメントに加えて練り混ぜ、8×8×1.5cmの型枠に打ち込み、空气中で16時間硬化させたのちに、練り混ぜ水と同じ水溶液を供試体の上1cmまで注いで32時間湛水養生した後、脱型し20時間乾燥させた。供試体は1枚ずつ作成した。

(3) 耐久性確認方法

コンクリートの耐久性は乾燥収縮、凍結融解作用、表面の摩耗及び衝撃によって低下する。乾燥収縮とは乾燥に伴う質量減少のことである。本実験では乾燥収縮を耐久性の指標として用いた。

供試体の質量を、精密はかりを用いて1週間毎日計測し、初日の質量を基準とした質量比の変化を求め、グラフにした。

(4) 実験結果

どの練り混ぜ水を加えた供試体もpHによる質量比の変化には違いは見られなかった(図1)。

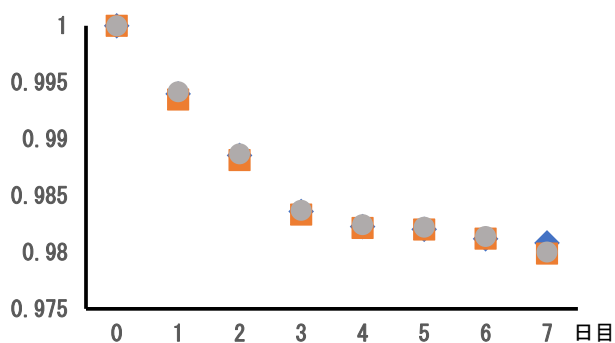


図1 異なる練り混ぜ水で作った供試体の質量比の変化

〈実験2〉強度比較実験

(1) 使用材料

- ・日曜セメント (実験1と同様)
- ・練り混ぜ水 (実験1と同様)

(2) 供試体の作成

367gのセメントと62mLの練り混ぜ水3種類を

それぞれ練り混ぜφ50×95mmの円柱状型枠に打ち込み、16時間硬化させたのちに脱型し、28日間水中養生を行った。供試体は3本ずつ作成した。養生時はセメントからカルシウムイオンが溶け出さないように飽和石灰水を用いた。

(3) 実験方法

土木学会基準により0.4~0.6[kN/s]で圧縮強度試験機を用いて供試体を圧縮し(図2)、強度[N/mm²]の平均値を求めた。



図2 圧縮強度実験の様子

(4) 実験結果

pH4の練り混ぜ水で作成した供試体のみ著しく強度が低下した(図3)。

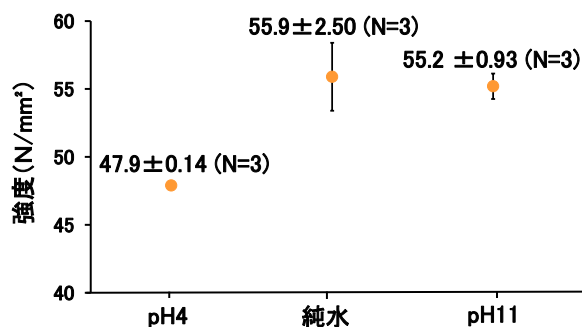


図3 異なる練り混ぜ水で作った供試体の強度の平均値

〈実験3〉中性化確認実験

(1) 使用材料

- ・日曜セメント (実験1と同様)
- ・練り混ぜ水 (純水)
- ・サラダ油

- ・エタノール
- ・フェノールフタレイン溶液

(2) 供試体の作成

実験1と同様の方法で作成した。供試体は3枚ずつ作成した。

(3) 実験方法

条件1：高濃度二酸化炭素環境下

塩酸と石灰石を反応させ発生した二酸化炭素で充満させたデシケータ内にサラダ油またはエタノールを塗布したもの、何も塗布しなかったものをそれぞれ1枚ずつ供試体を入れて5日間放置した。

条件2：空气中

条件1と同様の供試体を用意し、空气中に約1か月間放置した。

両条件の供試体の中性化を確認するために一定期間ごとに上面と側面にフェノールフタレイン溶液を垂らし、呈色の有無を確認した。

(4) 実験結果

二酸化炭素で充満させたデシケータに入れたものについて、3種類の供試体の上面及び側面は5日後には呈色が見られず中性化していた。供試体の内部まで中性化が進んでいるかを確認するために半分に割り、断面にもフェノールフタレイン溶液を垂らし色の変化を確認したところ、断面では呈色が見られた(表1)。よって内部まで中性化は進んでいなかった。

表1 二酸化炭素高濃度の環境下での中性化の影響

| | なし | サラダ油 | エタノール |
|----|----|------|-------|
| 上面 | × | × | × |
| 側面 | × | × | × |
| 断面 | ○ | ○ | ○ |

○：呈色した
×：呈色しなかった

空气中にさらしておいたものについて、上面はエタノールを塗布したもののみ5日後の時点で呈色が見られず、側面はすべて呈色した(表2,

3)。よって上面のみ中性化した。

表2 空气中にさらしておいたものの上面の結果

| | なし | サラダ油 | エタノール |
|------|----|------|-------|
| 5日後 | ○ | ○ | × |
| 12日後 | ○ | ○ | × |
| 19日後 | ○ | ○ | × |
| 26日後 | ○ | ○ | × |

表3 空气中にさらしておいたものの側面の結果

| | なし | サラダ油 | エタノール |
|------|----|------|-------|
| 5日後 | ○ | ○ | ○ |
| 12日後 | ○ | ○ | ○ |
| 19日後 | ○ | ○ | ○ |
| 26日後 | ○ | ○ | ○ |

4 考察

pH4の供試体に実験1, 2で結果に違いが見られた原因として、養生の時間と方法が異なったことに加え、実験1の供試体の水和反応が十分に進んでいなかったことが考えられる。

水和反応とは、セメントを水に混ぜたときにその成分が溶けだし、棘状のエトリンガイトと微細なC-S-Hが発生することで粒子間の隙間が埋まり、強度を発現する反応である。つまり、エトリンガイトとC-S-Hはコンクリートの強度を発現する上で最も重要な物質だと言える。

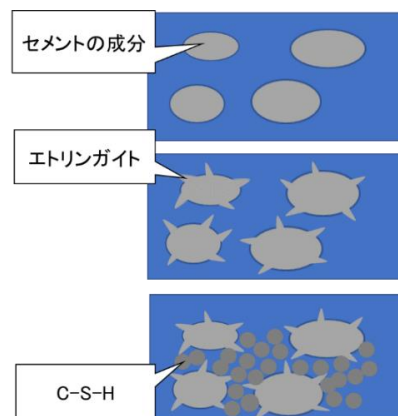


図4 コンクリートの水和反応の仕組み

次に実験2においてpH4の練り混ぜ水でつくった供試体のみ強度が低かった原因についてはコンクリートの強度発現に必要であるエトリンサイトとケイ酸カルシウム (C-S-H) の生成に、練り混ぜ水の中の硫酸が影響を及ぼしたことだと考えた。エトリンサイトの生成に関わるアルミネート相に含まれるCaO(塩基性酸化物)と Al_2O_3 (両性酸化物)とC-S-Hの生成に関わるエーライトに含まれるCaO(塩基性酸化物)に加えた硫酸の酸(H^+)が反応することでそれぞれの物質の生成に影響があったのではないかと考えた。

また、実験3において、エタノールは表面張力が弱いため供試体上面の微細な穴に入り込む。加えて、エタノールは揮発性が高いため上面が乾燥する。本来、供試体上面の微細な穴は水があるためほとんど空気に触れていないが、エタノールの影響で表面の水が蒸発し乾燥してしまうと、二酸化炭素に触れる面積が大きくなる。その結果、エタノールを塗布した供試体では中性化が促進されたのではないかと考えた(図5, 6)。

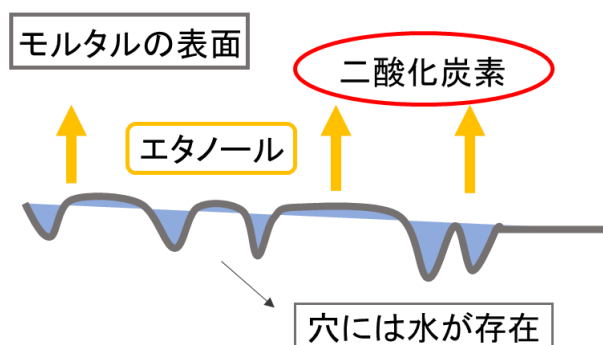


図5 エタノールによる上面の乾燥前の供試体への影響

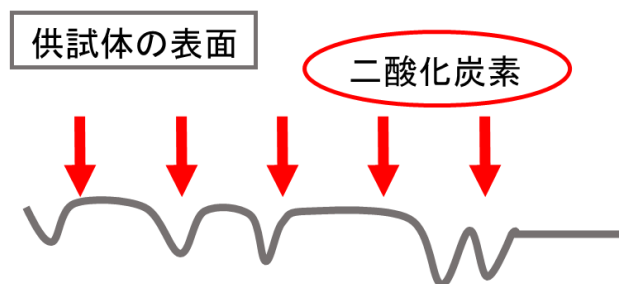


図6 上面が乾燥し中性化が進む供試体

5 結論

酸性の練り混ぜ水でモルタルを作ると強度が低下すること、また上面に揮発性の高い物質を塗布すると上面の中性化が進みやすくなる可能性があることが言える。これらの点に注意することにより、モルタルの劣化を防げるかもしれない。

6 謝辞

金沢大学理工学域地球社会基盤学系の五十嵐心一教授と柳田龍平助教、株式会社ピーエス三菱七尾工場の方々には多くのご助言をいただき、実験器具や測定機器をお借りしました。ありがとうございました。

7 参考文献

浦田 憲杜, 今野 秀輝, 佐藤 華花, 原田 麻央, 三保 璃胡, 由利 一樹, 2022, セメントと塩の関係, 秋田県立横手高等学校

佐々木謙二, 佐伯竜彦, 2007, C-S-Hの組成がコンクリートの耐久性に及ぼす影響, 日本材料科学会誌, 56, 699-706.

伊藤義也, 山口晋, 鵜澤正美, 2012, 真空凍結乾燥法とD-dry法を用いて乾燥したセメント硬化体の水銀圧入法による細孔性状, 一般社団法人セメント協会, 66, 135-142

物体の回転落下運動における 落下距離と回転量の関係

班員 香川 廉斗 瀬口 慎太郎 中谷 未来 羽田 雄栄
担当教諭 井藤 龍真

キーワード：回転落下、マーフィーの法則

An experiment was conducted to elucidate the relationship between the amount of rotation of an object and its falling distance. As a result, the equation for the relationship between the amount of rotation and the falling distance was $\theta = \sqrt{405h}$, regardless of the mass of the object to be dropped.

1 はじめに

私たちは、「マーフィーの法則」⁽¹⁾を基に、物体の回転落下運動における落下距離と回転量の関係に着目した。

本研究は、物体の回転落下運動の仕方、法則性について検証し、落下距離と回転量の関係を知ること、その関係からすべての物体に共通している一般式、法則性を見つけることを目的としている。

(参)マーフィーの法則とは

「落としたトーストがバターを塗った面を下にして着地する確率は、絨毯の値段に比例する」というもの。ただし、マーフィー自身のただの経験則であり、研究や理論に基づいているものではない。

2 材料と方法

◎ 実験 1

- (材料) ・ 20cm 間隔で目盛りを付けた
スケール (図 1)
・ 落下させる物体
→ 厚さ 1.5 cm, 1 辺 13.0 cm の正方形
(実際のトーストの形状を基にした)
質量 191g、厚紙を重ねたもの、
密度は一樣 (図 2)

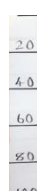


図 1 スケール

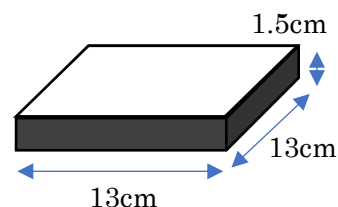


図 2 落下物

- (方法) 1 物体に加速度が加わらないように
少しずつ押し、物体を落下させる
2 真横からスロー撮影
3 動画から角度を計測 (図 3)
4 2, 3 を 20 cm ごとに 10 回繰り返し
落下距離と回転量を計測し、平均化した
5 横軸を落下距離 (cm)、縦軸を回転量
($^{\circ}$)としたグラフを作成

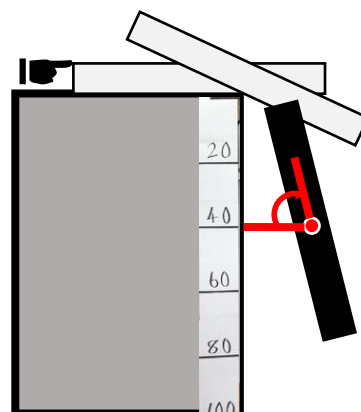


図 3 落下時

〈角度の計測の仕方〉

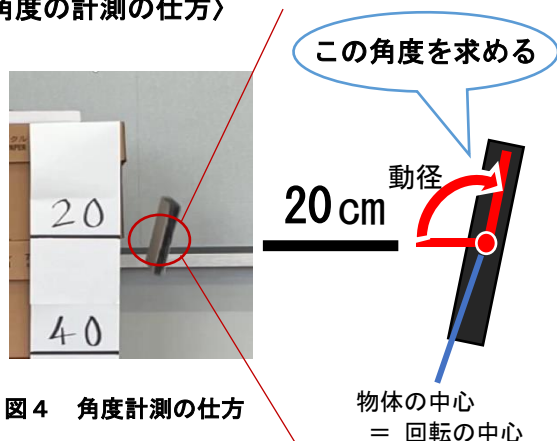


図 4 角度計測の仕方

◎ 実験 2

(材料) ・落下させる物体

→質量 42g、形状は実験 1 同様

(厚さ 1.5cm、一辺 13.0cm の正方形)

中が空洞になっている

・20cm 間隔で目盛りを付けたスケール

(方法) 実験 1 と同様

3 結果

◎ 実験 1

表 1 の結果となった。落下時の面に影響を及ぼすと思われる 90 度付近毎の値に注目すると 20cm で 96 度、80cm で 182 度（半回転）180cm で 272 度、320cm で 360 度（一回転）となった。落下距離（hcm）と回転量（ θ 度）の間には階差数列の規則性があると考えて以下の数式を導き出した。

$$(1) \quad h = 20 \left(\frac{\theta}{90} \right)^2$$

また、この式を θ について解くと、以下の数式が得られた。

$$(2) \quad \theta = \sqrt{405h}$$

表 1 実験 1 の落下距離と回転量の関係

| | | | | | | | | |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 落下距離 (cm) | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 | 160 |
| 回転量 (度) | 96 | 122 | 160 | 182 | 207 | 228 | 241 | 250 |
| 落下距離 (cm) | 180 | 200 | 220 | 240 | 260 | 280 | 300 | 320 |
| 回転量 (度) | 272 | 274 | 281 | 299 | 322 | 331 | 349 | 360 |

また、結果から得られたグラフは図 5 のようになった。青の点線で示した箇所は 90 度付近毎の記録を表したものである。赤点の上下の幅は 10 回の試行の標準偏差を表している。このグラフに (2) 式を当てはめてみると図 6 のグラフとなった。

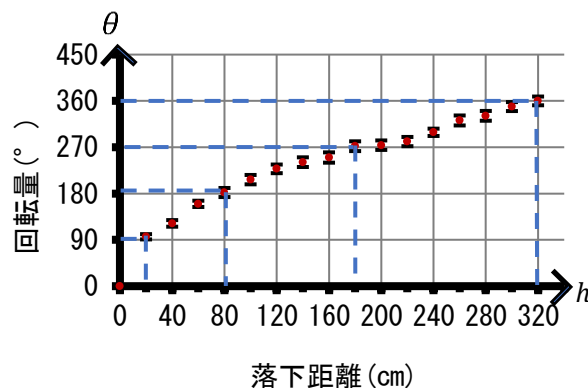


図 5 191g の物体の落下実験

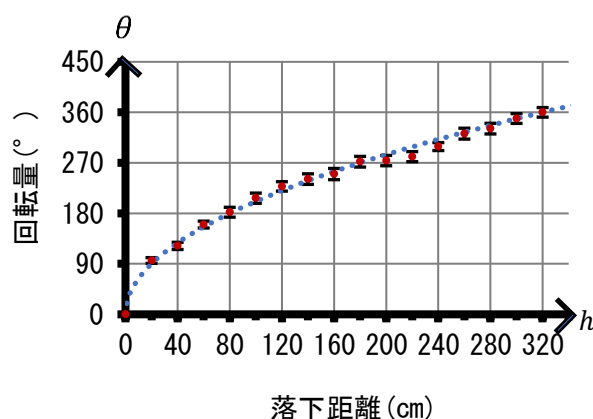


図 6 図 5 に (2) 式を重ねたグラフ

◎ 実験 2

表 2 の結果となった。実験 1 同様 90 度付近毎の値に注目すると、20cm で 96 度、80cm で 185 度（半回転）となった。140cm を超えると空気抵抗の影響が大きく、落下が不規則になり、10 回の回転量の値に大きな幅が生じたため、空気抵抗の影響をあまり受けなかった 120cm までの計測とした。また、結果から得られたグラフは図 7 のようになった。実験 1 同様に、赤点の上下の幅は標準偏差を表している。

表 2 実験 2 の落下距離と回転量の関係

| 落下距離 (cm) | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 |
|-----------|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 回転量 (度) | 96 | 137 | 160 | 185 | 217 | 232 |

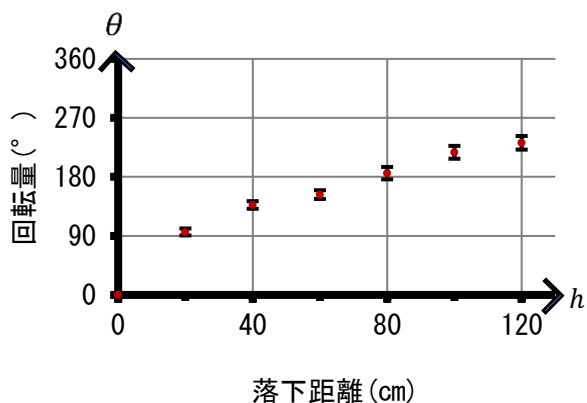


図 7 42g の物体の落下実験

4 考察

(考察 1)

191g の物体を用いた実験 1 と 42g の物体を用いた実験 2 で得たグラフを重ね図 8 を作成した。黒い点は実験 1 の結果、赤い点は実験 2 の結果を示している。これらのグラフの比較から物体は空気抵抗に依存せず、落下距離によって変化すると考えた。また、実験によって得た数式

$\theta = \sqrt{405h}$ は物体の質量が変化しても共通していると考えた。

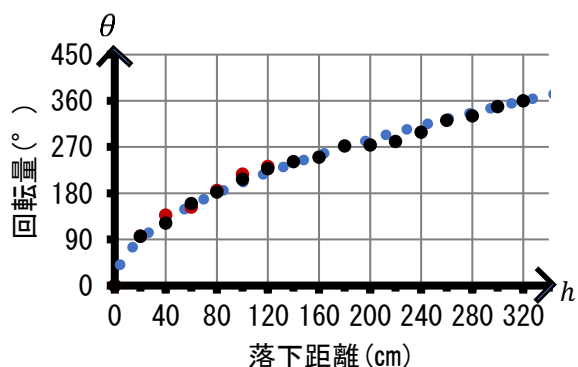


図 8 実験 1 と実験 2 のグラフの重ね合わせ

(考察 2)

さらに、物体の回転を等速円運動であると仮定し、 $h = \frac{1}{2}gt^2$, $\theta = \omega t$ という 2 式を用いて、 t を消去することによって

$$\theta = \sqrt{\frac{2\omega^2 h}{g}} = \omega \sqrt{\frac{2}{g}} \times h$$

という式を得た。

この $\theta = \omega \sqrt{\frac{2}{g}} \times h$ の式より、角速度 ω が変化することによって物体の回転落下運動における落下距離 h と回転量 θ の関係式が変化するのはのではないかと考えた。

(考察 3)

本研究は実験を通して考察したのに対して、先行研究は数式を用いて理論的に考察していた。先行研究では、「通常のテーブルを使用したとき、ほとんどの場合にバターを塗った面が下になって着地し、バターを塗った面を上にして着地させるためには高さ 3 メートル以上のテーブルを使うべきだ」という結論を出していた。この「通常のテーブル」は高さ 70 cm～72cm を示しており、トーストの落下距離が 70 cm～72cm であったことを表している。また、「バターを塗った面が下になること」はトーストの回転量が約 180 度であったことを表している。そして、先行研究にある「バターを塗った面を上にして着地させるためには高さ 3 メートル以上のテーブルを使うべきだ」ということに関してはトーストの落下距離が 300 cm 以上、回転量が約 360 度であったことを表している。本研究で得られた結果は、物体の落下距離が 80cm のときに回転量は 182 度、落下距離が 320 cm のときに回転量が 360 度になるというものであった。したがって、本研究結果は先行研究の結果と一致したと言える。

5 今後の展望

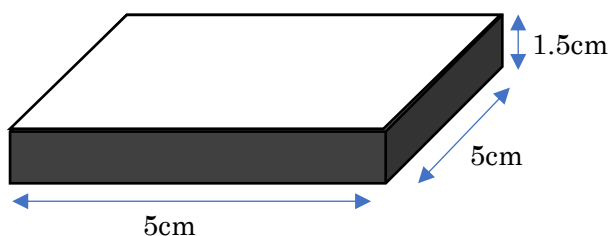
物体の角速度が変化する要因になりそうな大きさ、形状、重心の要素を変えて実験をより多く行い、全ての物体に適用できる一般式を導き出したい。また、それを応用して物体の落下運動をスマホの落下にみたて、スマホを落とした時の衝撃の抑え方を見つけないかと考えている。

6 今後の展望の検証

具体的に落下させる物体の(1)大きさや(2)形状(3)重心を変えて追加実験を行っていく。

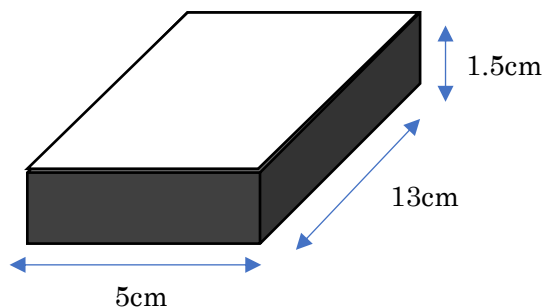
(1) 大きさの検証

一辺 13cm の正方形から 5cm に変更



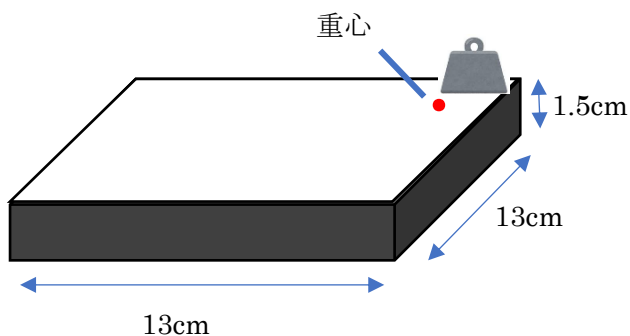
(2) 形状の検証

正方形から長方形に変更



(3) 重心の検証

重心中心以外の部分に変更



※おもりなどを物体の角に付け加えることによって、元々中心に存在する重心を角側に存在するように変化させる。

7 参考文献

- (1) R. A. J. Matthews, 1995, Tumbling toast, Murphy's Law and the fundamental constants *Eur. J. Phys.* 16 172.

酸性雨による花卉の脱色原因

班員 板尾 歩武、岩崎 瑞生、梅本 彩由

担当教諭 高畠 侑馬

キーワード：酸性雨、脱色、アントシアニン色素、細胞壊死

We researched the factors that contribute to acid rain induced petal decolorization. We based our experiment on the hypotheses of previous studies. We destroyed the petal cells by the freezing method. Also, we created pseudo-acid rain and dripped it onto the petals. The results showed that petal cells are destroyed by acid rain, which causes the pigment to decolorize.

1 はじめに

酸性雨とは工場の稼働や自動車の利用によって、原因物質である二酸化硫黄や窒素酸化物が発生し、空気中の水分と結びつき酸性の強い成分が雲に溶け込むことで通常より強い酸性を示す雨のことを指し、大気中の二酸化炭素が十分溶け込んだ場合のpH5、6が一つの指標となっている。酸性雨は森林や農産物の枯死、湖沼の酸性化、建造物や彫刻物の腐食、健康被害など環境に様々な影響を引き起こしている。植物に対する直接的な影響の例には花卉の脱色が挙げられる。この原因として、2つの仮説が主張されている。一つ目は花卉の組織細胞が破壊され、細胞内にあったアントシアニン色素が溶出し、脱色が起こるという説である。二つ目は酸性雨に含まれる SO_3^{2-} による漂白作用によって脱色されるという説であるが、どちらも実証されていない。先行研究では一つ目の仮説である組織細胞の破壊にされ、色素が溶出することによる脱色が有力であるとされていた。そこで本研究では、花卉が脱色するメカニズムを組織細胞の破壊による色素の溶出という観点から解明することを目的に実験を行った。

2 材料と方法

＜使用した花＞

フヨウ (*Hibiscus mutabilis*)

採集場所 七尾高校

＜実験 1 で使用した材料＞

- ・フヨウ (*Hibiscus mutabilis*)
- ・硫酸
- ・塩酸
- ・酢酸
- ・蒸留水
- ・乳棒
- ・乳鉢
- ・試験管
- ・pHメータ
- ・カメラ

＜実験 2 で使用した材料＞

- ・フヨウ (*Hibiscus mutabilis*)
- ・電子顕微鏡
- ・冷凍庫
- ・食品用ラッピングフィルム
- ・pHメータ

＜実験 3 で使用した材料＞

- ・フヨウ (*Hibiscus mutabilis*)
- ・硫酸
- ・塩酸
- ・酢酸
- ・電子顕微鏡
- ・食品用ラッピングフィルム
- ・pHメータ

＜実験 1 ＞

花卉の脱色において、アントシアニン色素その

ものの色が変化しているかを調べた。花卉4枚に水10mLを加え、乳棒で花卉をすりつぶし、色素抽出液を作成した。その色素抽出液2.0mLに蒸留水または酸性溶液を0.5mL加えた後に写真を撮り、インターネット上のサイトで色解析し、t検定を実施した。酸性溶液は、先行研究で用いられたものの中で、本校で用意できた硫酸、塩酸、酢酸を用いた。実際の酸性雨のpHは約4.0～5.6で、酸性雨は断続的に降るが、本研究では数滴滴下しただけであるため、今回の研究では、自然界の酸性雨よりも酸を強くし、酸性溶液による脱色の効果を高めるために酸性溶液をpH3とpH4にそれぞれ調整した。

<実験2>

先行研究の仮説で挙げられていた細胞の破壊と脱色の関係性を調べた。花卉の細胞の様子を電子顕微鏡で観察し、写真を撮った。その後、外部からのほこりの侵入を防ぐために食品用ラッピングフィルムで覆った状態にして、約マイナス18℃の冷凍庫に入れ、一日凍結した。一日経過後、22.8度の常温で解凍し、花卉の様子を電子顕微鏡で観察、写真の撮影を実施した。細胞を凍結させて細胞の構造を破壊する方法は細胞を破壊する方法の中でも比較的实施しやすい方法であったため採用した。

<実験3>

酸性溶液によって細胞が破壊されるのかを調べた。花卉を縦1cm、横2cm区画に切り、電子顕微鏡で細胞を観察と写真撮影を実施した。その後、実験1と同様にpHを調整した酸性溶液と蒸留水を0.5mL滴下し、実験2と同様に食品用ラッピングフィルムで覆った状態にして一日放置した。その後、電子顕微鏡を用いて花卉の細胞を観察し、写真撮影を実施した。

3 結果

<実験1>

蒸留水を加えた抽出液の色と酸性溶液を加えた抽出液の色の間に有意差は見られなかつ

た。(図1)

<実験2>

目視で観察したところ、解凍前に花卉の色が薄かった部分は解凍後には白く変化した。濃かった部分は桃色からやや紫色に変化した。(図2)

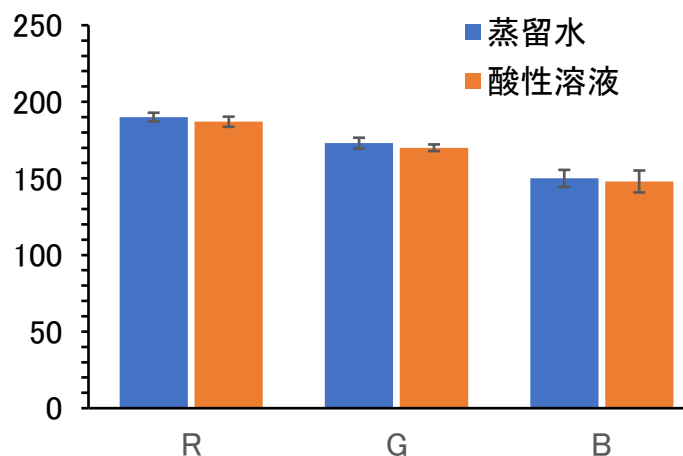


図1 蒸留水または酸性溶液を加えたあとのR、G、Bの平均値



図2 凍結前(左)と凍結後(右)のフヨウの花弁

電子顕微鏡を用いた観察では、凍結前は花卉全体に桃色の丸い形をした色素細胞が見られたが、解凍後はそれらの細胞が見られなかった。また、凍結前と比べ細胞の形が少し崩れ、細胞間の隙間が大きくなったように見えた。(図3)

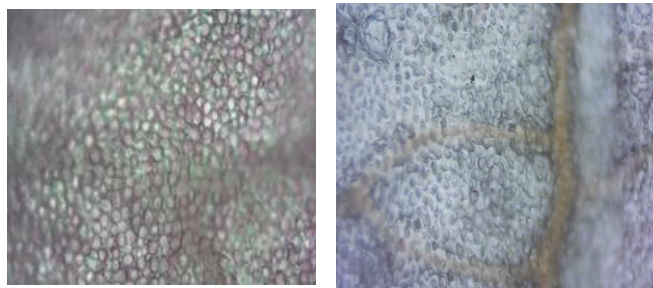


図3 凍結前（左）と凍結後の花卉の細胞（右）

色が濃かった部分に凍結前にも見られた桃色の棒状のものは解凍後に見られた。（図4）

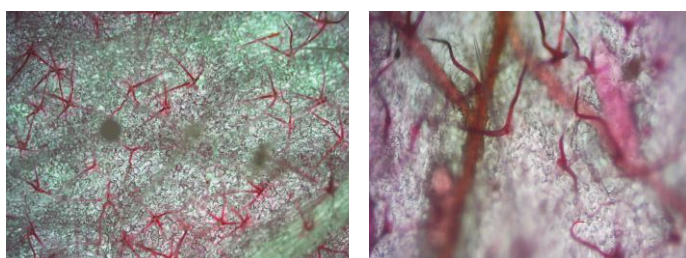


図4 凍結前（左）の解凍後（右）の花弁の細胞

<実験3>

酸性溶液を加える前の細胞に比べると、酸性溶液を加えた後の細胞は形が崩れ、細胞が破壊されていた。しかし、蒸留水を加えた細胞は酸性溶液を加えた細胞より細胞に大きな変化は見られず、形を保っていた。（図5、6、7、8）

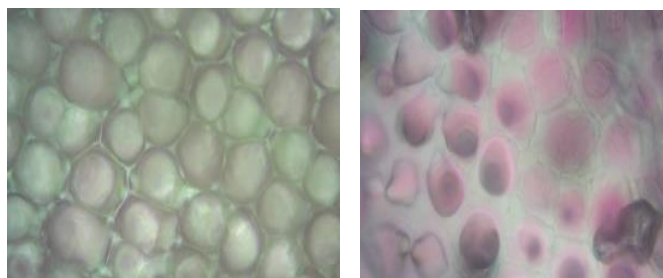


図5 硫酸をかける前（左）とかけて一日置いた後（右）の細胞

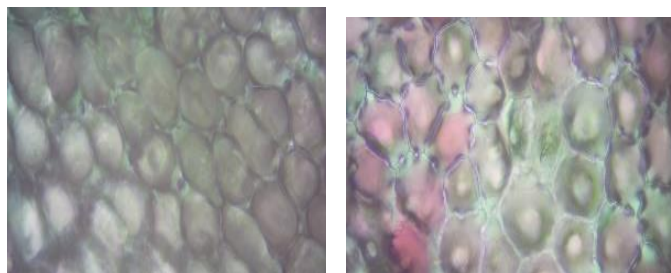


図6 塩酸をかける前（左）とかけて一日置いた後（右）の細胞

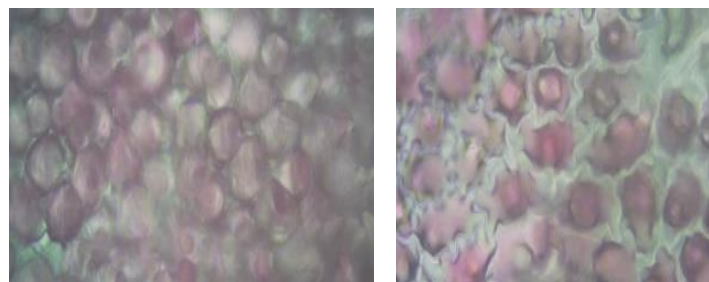


図7 酢酸をかける前（左）とかけて一日置いた後（右）の細胞

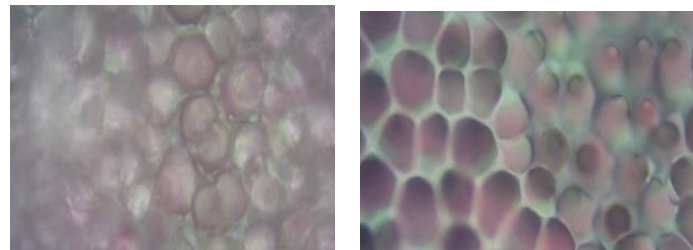


図8 蒸留水をかける前（左）とかけて一日置いた後（右）の細胞

4 考察

実験1より、花卉から溶出した後色素は酸性溶液によって変化しないといえる。実験2より、細胞が破壊されたとき、色素は脱色するといえる。実験3より、酸性雨によって花卉の細胞は破壊されるといえる。これら3つの実験結果より、花卉は含まれる色素が酸性溶液によって変性し脱色するのではなく、細胞が酸性溶液の影響で破壊され色素が溶出することで起こる。自然界での花卉の脱色は酸性雨によって細胞が破壊され色素が溶出することで起こると考えられる。

5 今後の展望

自然界の酸性雨の成分と、断続的に酸性雨が降る環境を再現したい。

酸性雨は断続的に降り続くが、今回の研究では酸性溶液を数滴滴下しただけであった。また、自然界の酸性雨は二酸化硫黄や窒素酸化物などの物質が化学反応を起こし、硫酸や硝酸となって降水に溶け込むが、本研究では硫酸や塩酸を混ぜずに使用した。本来の酸性雨の成分に近い疑似酸性雨を作成し、断続的に滴下すること

で自然界の花弁の脱色をより正確に再現することができるのではないかと考えている。

アントシアン色素の含有量が多い花を用いて実験を実施したい。

今回用いたフヨウは、アントシアン含有量が比較的少ないと言われている。そこで、アントシアン色素の含有量が多い花を用いて、同じ実験を行い今回の研究の結果と比較したいと考えている。

先行研究で挙げられていた、酸性雨に含まれている亜硫酸イオンによる漂白作用が、起こっていないと決定づけるための研究を行おうと考えている。

また、実験1で、色解析を行うときに分光スペクトルを用いたいと考えている。

今回はインターネット上のサイトを用いて撮った写真を色解析したため、写真の撮り方や光の加減によって結果が変わっている可能性がある。分光スペクトルを用いることで、蒸留水を加えた抽出液と酸性溶液を加えた抽出液の色の差があるかどうか、より正確に測定することができると考えている。

さらに、実験2で見られた桃色の棒状のものはなにかを調べたいと考えている。

どうして花弁の色の濃い部分のみに見られたのか、この細胞は実験2において色が濃かった部分の変化に関係しているのか、アントシアンが多いほかの花で同様の実験を行った場合、この細胞はみられるのか、などを調べていきたいと考えている。

そして、色素が溶出した後、色素がどこに行ったのかについて調べようと考えている。

酸性溶液に溶け込んだと考えているため、酸性溶液のなかに色素が含まれていることを調べる方法を考えている。

6 参考文献

石田仁、谷山鉄郎、
擬似酸生雨によるアサガオ花弁の脱色反応と
その変動要因に関する研究

<https://dl.ndl.go.jp/pid/11090582/1/1>

野内勇、小山功、大橋毅、古明地哲人、
酸性雨水によるアサガオ花弁の脱色について
https://jglobal.jst.go.jp/detail?JGLOBAL_ID=200902075766904884

僧都 博

生細胞の凍結による障害と保護の機構
https://www.jstage.jst.go.jp/article/kagakutoseibutsu1962/18/2/18_2_78/_pdf/-char/ja

酸性雨に関する基礎的な知識

https://www.data.jma.go.jp/gmd/env/acid/info_acid.html

細胞破碎って何？方法や使用器具を知りたい！

<https://sanmaru-m.co.jp/blog/2017/08/30/180>

RGB値による色の指定

<https://www.color-sample.com/others/imageanalysis/>