

令和4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 オオゴマダラは色覚を用いて赤系統のカランコエに訪花する・・・・・・・・・・P 1
佐々木結夢／柴野 恭輔／橋本 健汰／村井 遥奈 （担当教員 谷野 智了）
- ② 様々な粉体上の液体に刺激を与えた際の現象・・・・・・・・・・P 5
金井 陽輝／高田 もえ／竹森 朱理／福岡 碧渡 （担当教員 高畠 侑馬）
- ③ アスコルビン酸酸化酵素の作用と食品を用いた失活条件・・・・・・・・・・P 9
濱田 幹太／廣澤 夢空／福井 隆介／向瀬 紗来 （担当教員 高橋 潤哉）
- ④ ナガイモに含まれるシュウ酸カルシウムの結晶を
減少させる加熱温度と時間の関係・・・・・・・・・・P13
大成 逢生／亀 允斗／酒井 優里／真鶴 優輝 （担当教員 小林 広典）
- ⑤ ラムステン現象における膜の生成量を増加させるには・・・・・・・・・・P17
杉浦 拓真／長田 夕苺／松本 紗綾／輪瀬 一馬 （担当教員 橋谷 広司）
- ⑥ 粘性を持つ流体が受ける抵抗による加速度の変化から行う粘度分析・・・・・・・・P21
石坂 聖也／北原 誓也／島崎 聖大／出崎 翔大 （担当教員 井藤 龍真）
- ⑦ 加熱がバナナとネギの部位間の糖度変化に与える影響・・・・・・・・・・P25
岡本 真奈／田村 有逢／松本ちなみ／宮腰 光里 （担当教員 今田 拓伸）
- ⑧ 日中の天体観測における植毛紙を用いたフード延長の効果・・・・・・・・・・P29
境谷 佳純／塩崎 桃子／中野谷蒼汰／山下 未来 （担当教員 北原 点）
- ⑨ 高温環境下における輪ゴムの劣化の抑制手段・・・・・・・・・・P33
安達 直恭／竹口 幸哉／花島 圭祐 （担当教員 吉村 彰志）
- ⑩ モデル実験を用いた液状化現象の発生条件の解明・・・・・・・・・・P37
上林 透也／塚 凜太郎／政氏 克善／山道 悠生 （担当教員 山本 一博）

オオゴマダラは色覚を用いて 赤系統のカロランコエに訪花する

班員 佐々木 結夢、柴野 恭輔、橋本 健太、村井 遥奈
担当教諭 谷野 智了

キーワード：オオゴマダラ、カロランコエ、訪花行動、スペクトル、生得的行動

To investigate the color vision of butterflies, which are believed to possess diverse color vision, we conducted behavioral observations in a greenhouse where several species of butterflies and plants were exhibited, as well as experiments on red, yellow, pink, and orange *Kalanchoe blossfeldiana* and color paper of the same colors. The results showed that the *Idea leuconoe* selectively visits red-colored *Kalanchoe blossfeldiana* using color vision.

1 はじめに

色の見え方は明度・彩度・色相という三要素によって変化する。明度とは色の明るさの度合い、彩度とは色味の強さや鮮やかさの度合い、色相とは赤、橙、黄、緑、紫といった色の様相の違いのことである。色覚とは明度一定のもと、主に色相を見分ける能力を指し、各色が持つ波長の違いによって成立している。例えばヒトの場合は青色、赤色、緑色錐体細胞があり、赤から青までの波長の光を別色として識別することが可能である。

多様な昆虫種において、一番初めに色覚を持っていることが証明されたのはミツバチである。フリッシュの実験では、ミツバチは青色の紙の上で報酬を与えられ続けることで青色を学習し、報酬がなくても青色紙に飛来することができるが、赤色の紙で同様のことを行ってもミツバチは赤色紙に飛来することができないことが確認されている^[1]。このことから他種の昆虫でも赤色を識別することができないとしばらく考えられていた。しかし、その後の研究で、ナミアゲハに赤色を学習させると多様な色から赤色を正確に選択することができたため、昆虫種においてはじめて赤色も認識できることが明らかとなった^[2]。

以上より、昆虫種によって色の見え方が異なる

こと、昆虫の中でも特にチョウ類が多様な色の花を訪れる様子から、本研究では他種のチョウの色覚について調査・実験を行うことにした。先行研究でオオゴマダラは赤や桃色の造花に訪花する傾向があることが観察されていた。^[3]しかし、石川県ふれあい昆虫館の温室内では、赤色の花が多数あるにも関わらず、ほとんどのオオゴマダラが桃色のカロランコエに選択的に訪花していた。私たちはこの事実に興味を持ち、オオゴマダラの訪花行動に着目して、先行研究と別のアプローチで再実験・再検証することにした。

2 材料と方法

〈実験1と2で使用した材料〉

- ・オオゴマダラ (*Idea leuconoe*)
羽化したばかりであり、チョウの園での訪花経験のない個体を昆虫館から借用した。
また、実験1で使用した個体は実験2でも使用したが、学習による影響を考慮するために、実験1と2を36日間空けて実験した。
- ・ベニベンケイ (*Kalanchoe blossfeldiana*) 以降、カロランコエと表記する。桃色、赤色、黄色、橙色のカロランコエを昆虫館から借用した。
- ・網室(xinxin-home)
縦180 cm、横180 cm、高さ160 cmで、色は白

色、材質はポリエステル製の網室を実験1と2で使用した。

- ・単色おりがみ（株式会社トーヨー）
16種類の色紙の波長スペクトルを測定し、それぞれ4色のカラシコエに近い波長スペクトルを持つ色紙を選択し、実験2に使用した。
- ・虫用分光放射照度計CP160（ノブオ電子株式会社）

実験2で使用した色紙の波長スペクトルを測定した。

〈調査地〉

石川県ふれあい昆虫館内のチョウの園という年間通して熱帯に生息するチョウの訪花行動を観察できる温室内で調査を行った。

〈ルートセンサス調査〉

チョウの園のルートを5～6 m毎に、14か所に分割し(図1, 2)、各地点ごとに訪花が確認されたチョウの種類、数及び吸蜜行動を示した花の種類、色を記録した。調査は午前11時から午後16時まで一時間おきに計6回行った。



図1 ルート分割方法



図2 チョウの園のルート（赤線はルート分割地点）

〈実験1〉カラシコエ選択実験

他種のチョウや吸蜜植物が存在しない環境下でも、桃色のカラシコエを選好するのか検証するため、網室の中に、桃色、橙色、黄色、赤色のカラシコエを70cm四方に並べ(図3)、1日

絶食させたオオゴマダラを24時間放した。

実験の様子をタイムラプス機能付きカメラ及びyoutube配信機能で撮影・記録し、後日動画解析を行った。

このとき、吸蜜行動が見られた場合のみ数えた。なお、花蜜を探るような行動が確認できれば、吸蜜行動をとっていると判断した。

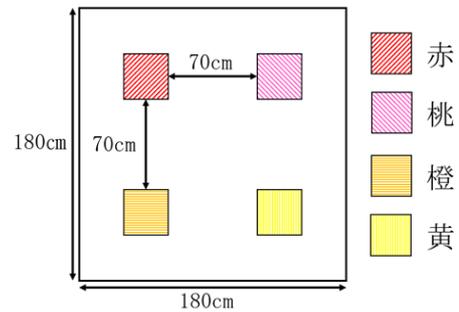


図3 カラシコエ選択実験

〈実験2〉色紙選択実験

餌となる花蜜が存在しない環境下でもオオゴマダラは桃色の色紙に訪れるかを検証するため、カラシコエと似たようなスペクトルをもつ色紙を使用し、カラシコエ選択実験と同じ配置で色紙を設置した。ここでは色紙の上にわずかな時間でも止まったら一回と数えた。

3 結果

〈ルートセンサス調査〉

オオゴマダラの訪花行動が268頭と一番多く観察でき、リュウキュウアサギマダラは86頭、シロオビアゲハは51頭、カバタテハは15頭、クロテンシロチョウは12頭観察できた(図4)。

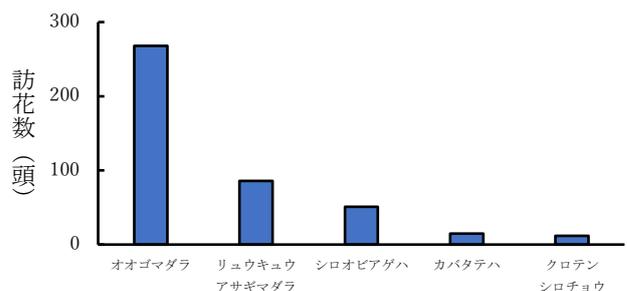


図4 訪花行動を観察できた種の延べ個体数

また、訪花行動が比較的多く観察できた、オオゴマダラ、リュウキュウアサギマダラ、シロオビアゲハの3種が共有している植物種についてのベン図を作成すると、オオゴマダラが単独で訪花していた植物種は9種類にも及ぶことが分かった（図5）。

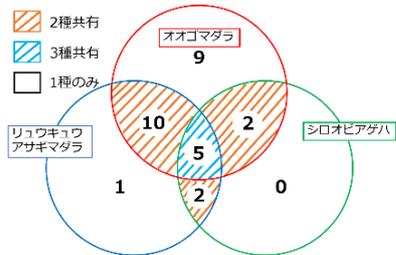


図5 3種のチョウが訪花した花の種類

さらに、この9種類のうちオオゴマダラは桃色のカランコエに28回と最も多く訪花する傾向が見られた（図6）。

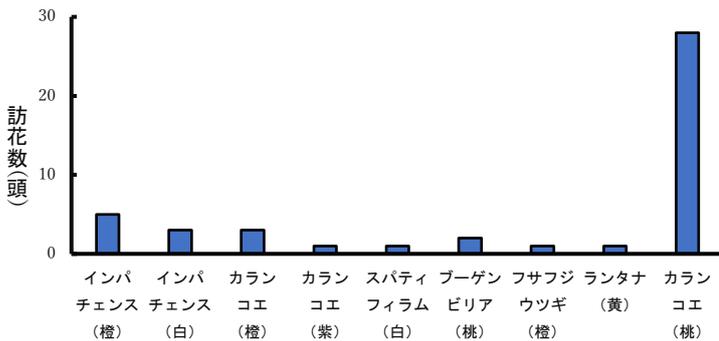


図6 オオゴマダラのみ利用していた各植物への訪花個体数

〈実験1〉カランコエ選択実験

桃色のカランコエへの訪花行動は389回と一番多く観察され、赤色のカランコエへは67回、橙色のカランコエへは28回、黄色のカランコエへは22回観察された（図7）。

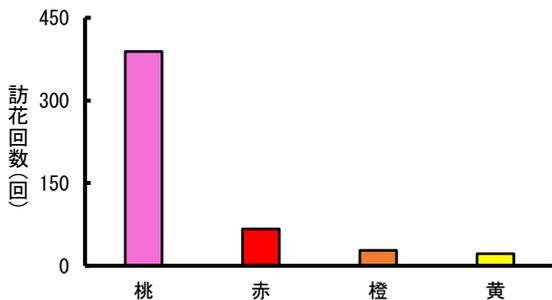


図7 各色のオオゴマダラの訪花回数

〈実験2〉色紙選択実験

赤色の色紙へは43回と一番多く訪れ、2番目に桃色の色紙に35回、橙色の色紙と黄色の色紙にはそれぞれ一回ずつ訪れた（図8）。

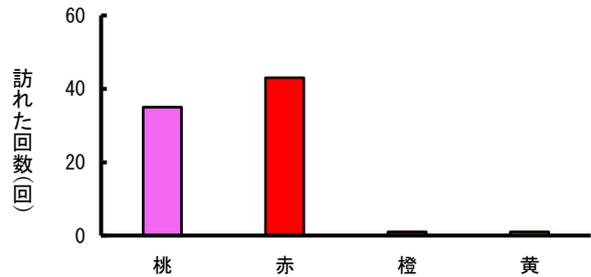


図8 各色の色紙に訪れた合計回数

4 考察

〈オオゴマダラのもつ色覚について〉

実験2の色紙選択実験の結果では、オオゴマダラは赤色と桃色の色紙に多く訪れていた。以下は色紙選択実験で用いた色紙の波長スペクトルの測定結果である（図9）。

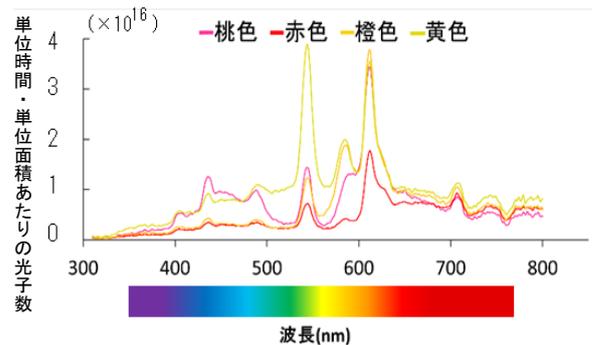


図9 実験2で用いた色紙の波長スペクトル

4色の色紙は赤色光をよく反射していることがわかる。実験2の結果と合わせて考えると、オオゴマダラは赤色光の受容細胞を用いて、赤系統の花に訪花していると考えられる。また、黄色や橙色にも赤色光が含まれているが、黄色や橙色には黄色光も含まれており、これが何かしら黄色系統に対する回避行動を促しているのかもしれない。今のところ、黄色系統の花は蜂類などの他種の訪花昆虫が好む傾向があるため、オオゴマダラは種間競争を避けているのではないかと考えている。

さらに、桃色の色紙には青色光も若干、含ま

れていた。このことから、オオゴマダラは青色光の受容細胞も持っている可能性があると考えられる。

〈赤系統色を選択する行動について〉

今回の実験で使用したオオゴマダラの個体はすべて、羽化して間もない、赤系統色を未学習の個体であった。よって、オオゴマダラが赤系統の花に訪花する行動は生得的なものと考えられる。

また、全国とオオゴマダラが主に生息する沖縄県で虫媒花型の花の色の割合を比較すると、全国では赤色の花の割合が7.4%であるのに対し、沖縄県では22.1%と明らかに多い(図10)。

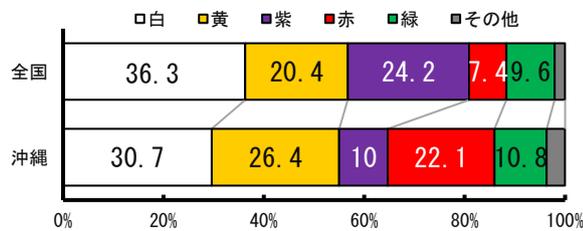


図10 全国と沖縄県における虫媒花型植物種の花の色の割合

このことから、赤系統色の花が多い沖縄県の環境で、多種多様な色の好みをもつ個体の中でも、特に赤系統色を好んで訪花していた個体が生き残ってきた可能性が考えられる。

〈実験2で赤色紙への飛来が急増したこと〉

実験1で使用した赤色のカラシコエは他の3色のカラシコエよりも花の数が少なかった。したがって、赤色のカラシコエも同様の数の花をもっていれば、実験1も実験2と同様の結果になっていたと予想している。

5 今後の展望

〈青色紙を使った選択実験〉

オオゴマダラが青色光の受容細胞をもつ可能性を検証するために、実験3の色紙選択実験と同じ条件下で青色の色紙を追加した実験を行うことを計画している。

〈色紙学習実験〉

オオゴマダラの生得的な色の好みを学習によって書き換えすることが可能かどうかを調べるため、学習能力に関する実験を行いたいと考えている。ナミアゲハを使った先行研究^[3]と同様の方法で、オオゴマダラに与える餌の下に、回避している色として予想している黄色の色紙を敷き、生後何日で黄色の色紙を訪れるようになるのか検証したいと考えている。

6 謝辞

石川県ふれあい昆虫館の林和美学芸員、石川県立大学の弘中満太郎准教授には、調査と実験にあたり助言をいただき、材料や測定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

- [1]カール・フォン・フリッシュ. ミツバチの不思議. 法政大学出版局. 1986
- [2]木下 充代. アゲハが見ている「色」の世界. 比較生理生化学2006. vol23, no. 4, p. 212-219
- [3]瀬田和明, 井上尚. マダラチョウの訪花活動について. (1) 温室内における花の色に対する選好性, 日周活動と環境条件. 蝶と蛾. 1999. vol50, no. 2, p. 104-110
- [4]瀬田和明, 落合米子, 寺口芳一. マダラチョウの訪花活動について(2) 温室内におけるオオゴマダラ, スジグロカバマダラの日周活動と環境条件. 蝶と蛾. 1999. vol50, no. 3. 235-242
- [5]林将之, 名嘉初美. 沖縄の身近な植物図鑑. ボーダーインク. 2022
- [6]田中肇, 正者章子. 花と昆虫不思議なだましあい発見記. 講談社. 2001

様々な粉体上の液体に刺激を与えた際の現象

班員 金井 陽輝、高田 もえ、竹森 朱里、福岡 碧渡
担当教諭 高島 侑馬

キーワード：パウダー現象、表面張力、浸水性

In this experiment, we examined the phenomenon when liquids on several powders are given a shock. Through experiments about changing the surface tension and measuring water permeability of several powders, the results showed that this phenomenon has connections with surface tension and water permeability.

1 はじめに

本研究では、スプーンに入れた粉体の表面を濡らし、そこに衝撃を与えると液体と粉体が瞬間的に一度に落ちる現象について、実験と考察を行った(図1、図2)。先行研究が見つからず、この現象には名前が付けられていなかったため、ここでは「パウダー現象」と呼ぶことにする。この現象は何故起こるのか、どのような粉体と液体の組み合わせで起こるのか明らかにすることを目的として実験を行った。



図1 パウダー現象前



図2 パウダー現象後

2 材料と方法

<実験1>

パウダー現象が起こる粉体と液体の組合せを探索した(表1)。12種類の粉体と2種類の液体を使用した。12種類の粉体のうち2種類には、乳化剤が含まれている。今後、乳化剤が含まれる粉体の名前に(*)をつける。スプーンに粉体をすりきり一杯入れ、25℃の液体で表面を濡らし、爪楊枝で突いた。こ

れを5回行った。この動作をハイスピードカメラで撮影し、観察した。

<実験2>

酒は水よりも表面張力が小さい⁽¹⁾。実験1で水よりも表面張力が小さい酒は現象が起こりにくかった。このことから現象の起こりやすさと表面張力に関係があると考え、水の温度を変え実験をした。水は温度を上げると表面張力が弱くなり、温度を下げると表面張力が強くなる(図3)。水の温度変化とパウダー現象との関係を調べることで、表面張力とパウダー現象の関係を明らかにすることを目的とした。水を使用し、実験1でパウダー現象が起きやすかった粉体は高温(約50℃)の液体で、起きにくかった粉体は低温(約10℃)の液体で、実験1と同様の方法で現象を観察した。

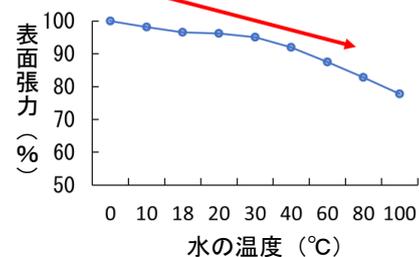


図3 温度による水の表面張力の変化⁽²⁾

<実験3>

表面張力と現象の起こりやすさを調べるため、水に界面活性剤を添加しパウダー現

象を観察した。界面活性剤は水の表面張力を弱める働きがある⁽³⁾。界面活性剤である石鹼（アルポール石鹼液）3mLを、200mLの水に混ぜた液体を用い、実験1と同じ方法で観察した。

<実験4>

実験1でパウダー現象が起こりにくかった粉体では、パウダー現象が起きやすかった粉体と比べて、液体がしみこみやすいことが観測できた。そこで、液体の染み込みやすさとパウダー現象の関係を調べた。6cmに切ったストロー（サンナップ株式会社、ポリプロピレン製、Φ5mm×18cm）に最下部から3cmまで粉体を詰めた。この時、ストローを指で軽くはじき、粉体を均一になるようにした。ストローの上からマイクロピペットで20μLの水をいれ、1分間で浸水した深さを計測した（図4、図5）。この時、最も多く浸み込んだ場所で深さを計測した。



図4 詰めた粉に水が浸み込む前



図5 詰めた粉に水が浸み込んだ後

4 結果

以上の結果を表1～4、図7、8に示した。

ここで

○：パウダー現象が完全に見られた

△：パウダー現象がやや見られた

（スプーンの半分以下（図6））

×：パウダー現象が全く見られなかったを表す。



図6 パウダー現象がやや見られた△の例

<実験1>

京きなこ、きなこ、アルビスきなこのアーモンドプードルでは、水と料理酒のどちらでも現象は起きなかった。また、現象が起きなかった粉体のうち、アーモンドプードルのみ、液体が深くまで染み込んだ。アーモンドプードル以外の粉体では、粉体の表面上で液体が撥水する様子が観察された。また酒と水を比較すると、酒は水よりもパウダー現象が起こりにくかった。

表1 液体と粉体の組み合わせごとのパウダー現象の発生の様子

	水	料理酒
ココア 70	○	△
ブルボンココア	○	△
ブラック ココアパウダー	○	△
ノンウエット ココアパウダー（*）	○	○
粉糖	△	△
ノンウエット シュガー（*）	○	○
竹炭パウダー	○	○
とろけるきなこ	△	△
京きなこ	×	×
きなこ	×	×
アルビスきなこ	×	×
アーモンド プードル	×	×

※全て5回実験を行い、同じ結果だった

<実験2>

25℃から10℃に水の温度を低くすると、とろけるきなこは5回中5回現象が起こり、25℃の時

より起こりやすくなった(表2)。また、25℃から50℃に水の温度を高くすると、ブラックココアパウダーはすべて現象が起きず、ココア70は、5回中3回現象が起こり、25℃のときより現象が起こりにくくなった(表3)。

表2 水温が25℃と10℃の場合のパウダー現象の発生の様子

温度	25℃ (5回全て 同じ結果)	10℃				
		①	②	③	④	⑤
京きなこ	×	×	×	×	×	×
とろける きなこ	△	○	○	○	○	○
アルビス きなこ	×	×	×	×	×	×
きなこ	×	×	×	×	×	×
アーモンド ブードル	×	×	×	×	×	×

表3 水温が25℃と50℃の場合のパウダー現象の発生の様子

温度	25℃ (5回全て 同じ結果)	50℃				
		①	②	③	④	⑤
ブルボン ココア	○	○	○	○	○	○
ココア70	○	×	△	△	×	△
ブラック ココアパウダー	○	×	×	×	×	×
ノンウェット ココアパウダー(*)	○	○	○	△	○	○
粉糖	△	△	△	△	△	△
ノンウェット シュガー(*)	○	○	○	○	○	○
竹炭パウダー	○	○	○	○	○	○

<実験3>

界面活性剤を添加したところ、ブラックココアパウダーは、3回中1回現象が起きず、ブルボンココアととろけるきなこはすべて起きず、界面活性剤を添加しないときより現象が起きにくくなった(表4)。

表4 界面活性剤の有無によるパウダー現象の発生の様子

界面活性剤	無	有	有	有
ブルボンココア	○	×	○	○
ココア70	○	○	○	○
ブラックココア パウダー	○	△	△	△
ノンウェット ココアパウダー(*)	○	○	○	○
粉糖	△	△	△	△
ノンウェット シュガー(*)	○	○	○	○
とろけるきなこ	△	×	×	×
竹炭パウダー	○	○	○	○

<実験4>

実験1でパウダー現象が起きにくかった粉体では0.8cmより浸水した深さが深く、パウダー現象が起きやすかった粉体では0.7cmより浸水した深さが浅かった(図7)。

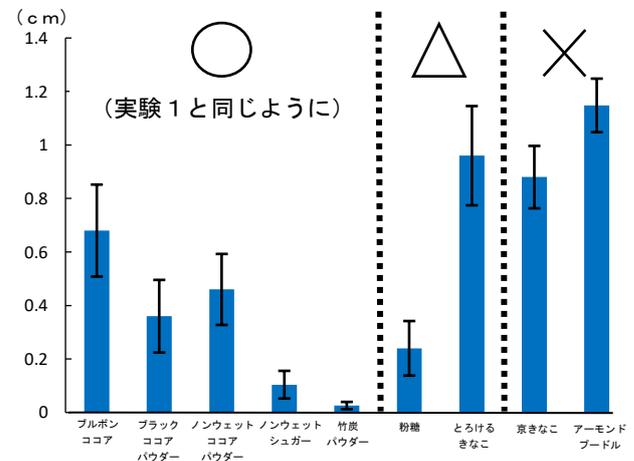


図7 それぞれの粉体に1分間に水がしみ込んだ深さ

<実験3と4のまとめ>

乳化剤を含まないブラックココアパウダーより乳化剤を含むノンウェットココアパウダーのほうがパウダー現象は起きやすかったが浸水性は大きかった。また、浸水性が低い竹炭パウダーは、液体の表面張力が変化しても、パウダー現象の発生と関係しなかった(図8)。

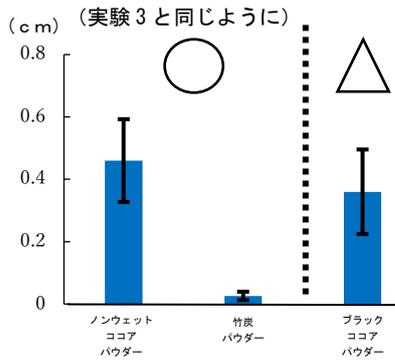


図8 実験3、4の結果 (一部)

5 考察

パウダー現象のおこるメカニズムについてハイスピードカメラの観測から以下の仮説をたてた。粉体が溶けた液体は柔らかい粘土のような固まりとなっており、そのため、刺した爪楊枝を引き上げる際に固まった層ごとに持ち上げられる (図9、図10)。さらに引きあげると、刺した点を中心に構造が壊れ、これが連続して周囲に広がる (図11、図12)。膜の一点は全方向から表面張力を均等に受けており、構造の一部が壊れると力が偏りその点を中心にして構造の破壊が連続して周囲に広がる。この一連の現象がパウダー現象であると考えられる。



図9 現象がおこる前

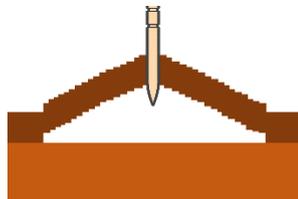


図10 図9のモデル図



図11 現象がおこった後

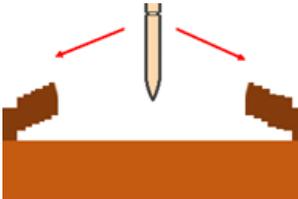


図12 図11のモデル図

また、浸水性が高い粉体は液体が粉体に浸み込む割合が大きいため現象が起きにくいのではないかと考えられる。また、乳化剤を含む粉体は、水を弾く性質があるため、表面張力または浸水性に影響していると考えられるが、今回の実験ではパウダー現象を引き起こす詳しい理由はわからなかった。実験3や実験4の結果からパウダー現象の起きやすさは乳化剤の有無、粉体の浸水性、液体の表面張力の強さが相互に影響し決まると考え

られる。

6 結論

パウダー現象の起きやすさは液体の表面張力の強さ、粉体の浸水性、乳化剤の有無が関係している。

7 今後の展望

ココアパウダーやきな粉などの天然な物は一般的に粉の大きさが統一されていない。このことから粉の大きさが不均一であると粉が浸み込みやすくなる。また、粉体と液体の組み合わせによって溶けやすさが変わる。これらが今回の実験結果に影響している可能性が考えられる。よって今後は、シリカパウダーや活性炭などの比較的粒子径⁽⁴⁾が揃っていて、1種類の成分のみで構成されている粉体を用い、パウダー現象を物理的な観点で考察していきたい。

また、今回の実験では液体の表面張力を数値で表すことができなかった。今後は、表面張力を測定するか、界面活性剤の濃度を変化させて、液体の表面張力の強弱を数値として表して定期的に検討したい。

8 参考文献

- (1) “表面張力とは-コトバンク” 株式会社 DIGITALIO 及び 株式会社 C-POT . <https://kotobank.jp/word/表面張力-121422> (参照2022-05-13)
- (2) “東京都鍍金工業組合” http://www.tmk.or.jp/7.2_detapdf/data48.pdf (参照2022-11-18)
- (3) “泡と表面張力-理大の栞” 岡山理科大学. <https://www.ous.ac.jp/kikaku50/bookmark/bm005e.html> (参照2022-06-04)
- (4) “粒子径とは-HORIBA” 株式会社堀場製作所 <https://www.horiba.com/jpn/scientific/> (参照2023-01-28)

アスコルビン酸酸化酵素の作用と 食品を用いた失活条件

班員 濱田 幹太、廣澤 夢空、福井 隆介、向瀬 紗来
担当教諭 高橋 潤哉

キーワード：アスコルビン酸、アスコルビン酸酸化酵素、リンゴ

We investigated the action of ascorbic acid oxidase and conditions for its inactivation using foods. Experiments were conducted to measure changes in ascorbic acid concentration at different pH and salinity levels. Ascorbic acid oxidase is thought to be inactivated by changing the pH with drinking water. In addition, the salinity has a possibility to inactivate ascorbate oxidase.

1 はじめに

アスコルビン酸（以下AA）はビタミンCのことである。AAは美肌作用や日焼け防止や抗がん作用などが期待されている。しかし、人の体内にはAAを合成する酵素がなく、食事などにより摂取しなければならない。通常AAは還元型で存在しているが、アスコルビン酸酸化酵素（以下AAO）の作用などによって酸化され、酸化型AAとなる。AAOはリンゴやキュウリ、キャベツなどの野菜や果物に含まれている。還元型AAは分解されにくく、安定しているが、酸化型AAは熱に弱く、分解されやすい。つまりAAを効率よく摂取するには酸化を防ぐ必要がある。先行研究では、薬品を用いてpHを変化させるとAAOを失活させられることが分かっている。しかし、調理過程では、薬品を用いてAAOを失活させることはできない。そこで、日常生活での実装を目的として、食品を用いてAAOを失活させる方法を検討するために、飲料水のpHや塩分濃度がAAOに与える影響を調べた。

2 材料と方法

<使用器具>

- ・ハンドプロセッサ
- ・遠心分離機
- ・RQフレックス
- ・pHメーター

<使用薬品・使用食品>

- ・アスコルビン酸
- ・5%メタリン酸水溶液
- ・リンゴ
- ・コココーラ
- ・アケリアス
- ・紅茶
- ・食塩
- ・砂糖

<実験方法>

実験ではすべて、小型反射式光度計「RQフレックス」（Merck kGaA）（図1）を用いて、液中の還元型AA濃度を測定した。RQフレックスは、試験紙を溶液に浸し変色させ、その試験紙の光の反射率を測定することで濃度を定量できる。以下、AA濃度は還元型AA濃度を指すものとする。またリンゴ果汁は、リンゴ一個に対して、5%メタリン酸水溶液20 mLを加え、ハンドプロセッサを用いて細かく砕いて搾った果汁を3000回転で3分間遠心分離し、その上澄み液のみを採取して使用した。メタリン酸水溶液は、AAが空気酸化を受けるのを防止する安定剤の役割がある。



図1 RQフレックス

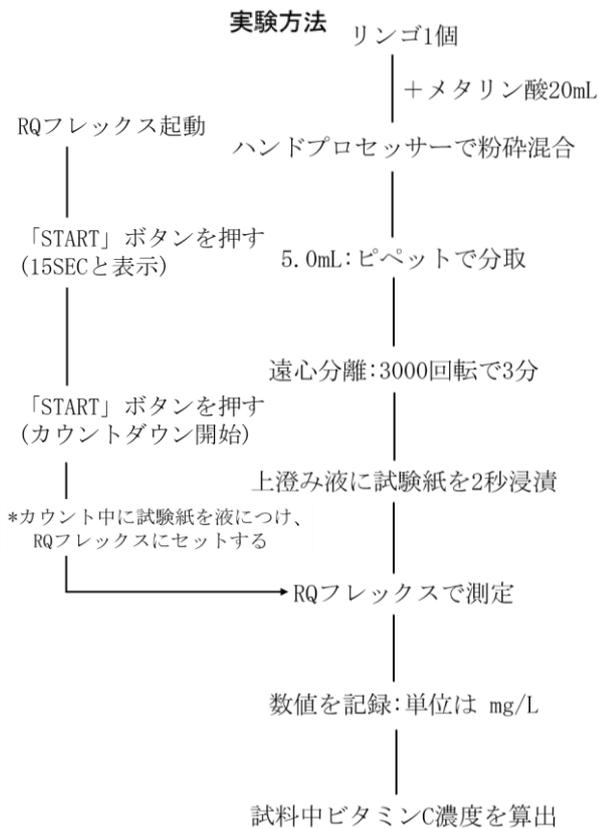


図2 RQフレックスを用いたAA濃度測定方法

＜実験1＞ リンゴに含まれるAA0の作用について

1.0×10⁻³ mol/Lに調製したAA水溶液500 mLに対して、リンゴ果汁20 mLを加え、10分後、液中AA濃度を測定した。次に、加えるリンゴ果汁を50 mLに変えて同様に実験を行った。

＜実験2＞ 飲料水を用いたpHの変化によるAA0の失活条件

AA溶液の2分の1をコココーラ、アクエリアス、紅茶に変えて、実験1と同様に行った。水とコココーラ混合水溶液はpH2.85、アクエリアスはpH3.63、紅茶はpH5.60だった。pHはpHメーターを用いて測定した。

＜実験3＞ 塩分濃度の変化によるAA0の失活条件

1%、5%食塩水を用いてAA水溶液をそれぞれ作り、リンゴ果汁を50 mL加える場合のみで、実験1と同様に行った。

3 実験結果

＜実験1＞

液中AA濃度は、リンゴ果汁を20 mL加えたときは24 mg/L、リンゴ果汁を50 mL加えたときは41 mg/L減少した(図3)。

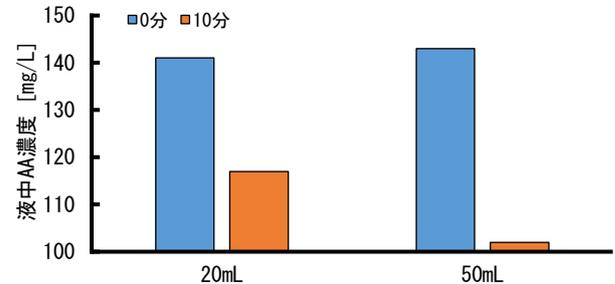


図3 リンゴ果汁を20 mLと50 mL加えた時のAA濃度変化

＜実験2＞

リンゴ果汁を20 mL加えたとき、液中AA濃度は、コココーラ、アクエリアスでは6 mg/L、紅茶では20 mg/L減少した(図4)。

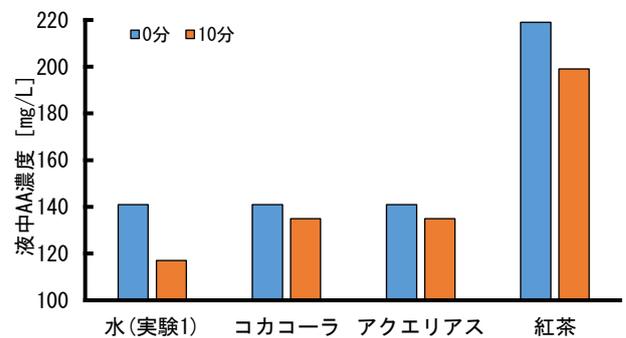


図4 リンゴ果汁を20 mL加えた時の飲料水によるAA濃度変化

リンゴ果汁を50 mL加えたとき、コココーラでは19 mg/L、アクエリアスでは20 mg/L、紅茶では44 mg/L減少した(図5)。

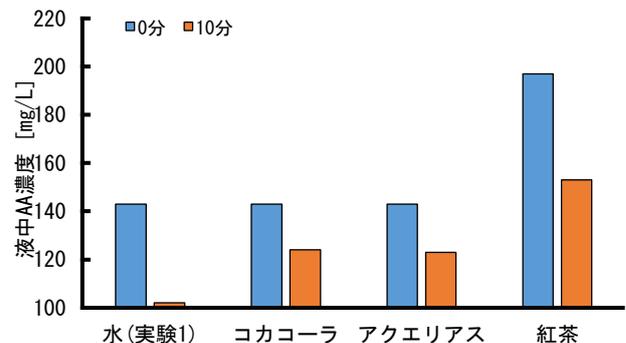


図5 リンゴ果汁を50 mL加えた時の飲料水によるAA濃度変化

<実験3>

液中AA濃度は、塩分濃度が1%のときは27 mg/L、塩分濃度が5%のときは30 mg/L減少した(図6)。

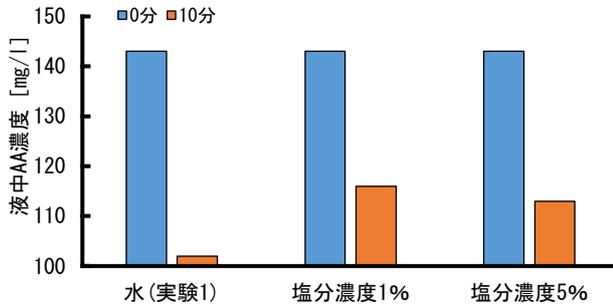


図6 リンゴ果汁を50 mL加えた時の塩分濃度によるAA濃度変化

4 考察

<実験1> AA0量が増えると酸化反応速度も上昇すると言える。これは基質であるAAの量が一定のまま、酵素であるAA0の割合のみが増加したことで、酵素基質複合体の生成量が増加したことによると考えられる。

<実験2> 水(実験1)と比べると、ココロラ、アクエリアスを用いたとき、液中AA濃度の減少量は小さくなったため、AA0は失活したと言える。よって、飲料水を用いてpHを小さくすると、薬品を用いたときと同様にAA0は失活すると考えられる。また、先行研究ではpH3では失活し、pH4で失活しなかったが本研究でpH3.63でも失活すると分かった。

<実験3> AA0が失活したと考えられるココロラ、アクエリアス(実験2)と比較すると液中AA濃度の減少量が小さくなったとは言えないが、水のみを用いた時(実験1)と比較すると、減少量は小さくなった。かまぼこを成形する際に塩を加えることによって筋原線維たんぱく質に浸透し、タンパク質同士の静電的な相互作用を弱め、溶けやすくなる⁽²⁾。このことから、以下のような仮説を立てて、実験4を行った。

仮説: 塩化ナトリウムが水溶液中で電離し、イオンになることでタンパク質の構造を維持する水素結合などの静電的な結合を崩し、結果としてAA0を失活させた。上記仮説が正しいならば、同じ物質量の砂糖を溶かしてもAA0は失活しない。

5 追加実験

<実験4> 塩分・砂糖濃度の変化によるAA0の失活条件

実験3において、AA0を失活できた可能性を検証した。食塩水(0.5%、1%、5%、15%、20%)と、5%、15%食塩水と物質量が等しくなるように調製した砂糖水(以下、それぞれ5%砂糖水、15%砂糖水と表記する)を用いて、実験3と同様に行った。また、加える食塩、砂糖の量が多くなり、体積が大きくなったため、液中AA濃度の単位をmg/Lからmol/kgに変更した。

結果

10分後の液中AA濃度減少量は水のみで 233×10^{-6} mol/kg、塩分濃度0.5%で 77×10^{-6} mol/kg、塩分濃度1%で 27×10^{-6} mol/kg、塩分濃度5%で 167×10^{-6} mol/kg、塩分濃度15%で 8.8×10^{-6} mol/kg、塩分濃度25%で 12×10^{-6} mol/kg、砂糖15%で 140×10^{-6} mol/kgだった。また、砂糖5%では液中AA濃度は増加した。

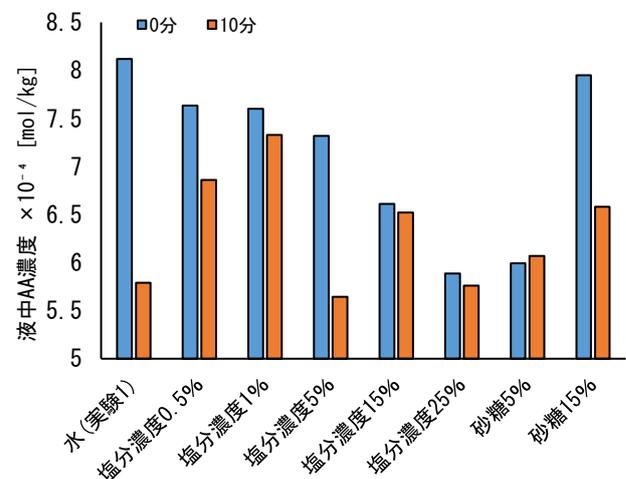


図7 リンゴ果汁を50 mL加えた時の塩分濃度と砂糖によるAA濃度変化

塩分濃度と液中AA濃度に有意な関係は見られなかったが、実験結果から塩分濃度5%、砂糖5%の結果を除いて比較すると、図8のようになった。

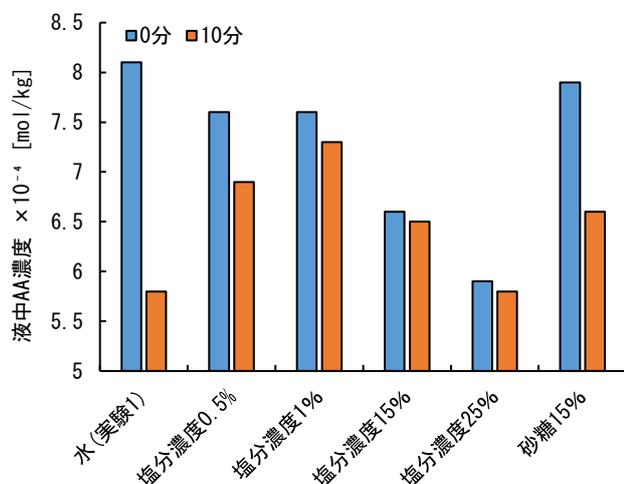


図8 リンゴ果汁を50 mL 加えた時の塩分濃度と砂糖によるAA濃度変化(5%除外)

考察:塩分濃度とAA濃度に有意な関係は見られなかった。しかし、5%食塩水、5%砂糖水を除いたすべての実験結果で、塩分濃度が高くなるほど液中AA濃度の減少量が小さくなるという傾向が見られた。このことから、塩分濃度がAA0に影響を与える可能性は大きいと考えられる。また、15%砂糖水を用いたときは、水(実験1)と同様にAA濃度が大きく減少した。このことから、AA0が砂糖水を用いたときは失活せず、食塩水を用いたときは失活したと考えられる。これは私たちが考える仮説に矛盾せず、仮説が正しいといえる。

6 結論

飲料水を用いて溶液のpHを低くしても、薬品を用いたときと同様にAA0は失活すると分かった。また、pH3.63でもAA0を失活すると分かった。塩分濃度によってAA0を失活させる可能性がある。

7 今後の展望

塩分濃度による失活条件について、5%食塩

水、砂糖水を用いて再度実験を行い、私たちが立てた仮説が正しいか検証する。また、0.5%よりも低い塩分濃度で実験を行い、塩分濃度とAA0の失活に有意な差があることを確かめる。

8 謝辞

石川県立大学の平山琢二先生には、測定器「RQフレックス」をお貸しいただき、その使用方法をご指導いただきました。ありがとうございました。

9 参考文献

- (1) 市川史弥, 金子蒼平, 大竹美保, 加藤颯 “アスコルビナーゼの活性について” 岐阜県立恵那高等学校 2013-08-22
<https://school.gifu-net.ed.jp/ena-hs/ssh/H24ssh/sc3/31218.pdf> (参照2022. 4)
- (2) タンパク質の「変性」ってどんな現象? 元に戻らない? 原理や原因・具体例を現役の研究者がわかりやすく解説 Study-Z ドラゴン桜と学ぶWebマガジン
<https://study-z.net/100186590/2> (参照2022. 10)
- (3) 吉村悦郎. リンゴの褐変を防ぐ食塩の効果とそのしくみ -ハロゲン化物イオンによるポリフェノールオキシダーゼの活性阻害- 2016-3
<https://www.saltscience.or.jp/symposium/2016-3.yoshimura.pdf> (参照2022. 12)

ナガイモに含まれるシュウ酸カルシウムの結晶を減少させる加熱温度と時間の関係

班員 大成 逢生、亀 允斗、酒井 優里、真鶴 優輝
担当教諭 小林 広典

キーワード：シュウ酸カルシウム、針状結晶、サフラニン溶液

When the heating temperature and time were varied, crystals were observed in all cells at low temperature. However, at high temperature, no crystals were found in the majority of cells. This is thought to be because the cell walls of the cells containing the crystals were disrupted by the heating and the crystals leaked out. We also believed that this would reduce the impact of the crystals on the skin, thereby reducing itching.

1 はじめに

シュウ酸カルシウム（以下、 CaC_2O_4 とする）は針状の結晶であり、ナガイモでは皮周辺に束となって多く存在している（図1）。ナガイモを食べる際に、口の周りなどに痛みやかゆみが生じる現象は、この結晶が皮膚や粘膜に刺さることによって起きる。この痛みやかゆみを軽減するには、この結晶を無くせばよい。先行研究では、エレファントイヤの葉と葉柄を85℃で15分加熱した際に、 CaC_2O_4 の結晶が葉や葉柄の外に溶け出し、安全に食べることができると分かっている⁽¹⁾。同じようにするためにナガイモの場合は、何℃、または何分で加熱すれば、 CaC_2O_4 の結晶が減少し、食べる際に生じる痛みやかゆみが軽減するのかを明らかにするため、実験を行った。



図1 CaC_2O_4 の針状結晶

2 実験方法

ナガイモを顕微鏡で見ることができる0.3 mmの厚さに輪切りにした（図2）。そして、1つの細胞に含まれる結晶数を計測するため、サフラニン溶液を用いて細胞壁を染色した（図3）。顕微鏡で結晶を含む細胞を見つけ、1つの細胞に含まれる結晶数を計測した。その後、結晶を含む細胞を観察しやすくするために、その細胞が中央に来るように、ナガイモを1 cm²四方に切り取った。

こうした処理をしたナガイモを5つ用意した（図4）。次に、水を一定温度に維持することができるウォーターバス（BUCHI）で湯煎により加熱した。この際、ナガイモが直接水に触れないように、密閉袋（ジップロック）に入れた（図5）。その後、顕微鏡で加熱前と同じ細胞を見つけ、加熱後の1つの細胞に含まれる結晶数を計測した。

細胞によって含んでいる結晶数が異なるため、絶対数で結果を比較することは困難であった。そのため、結晶がどれだけ減少したかを表す、減少率で結果を示した。

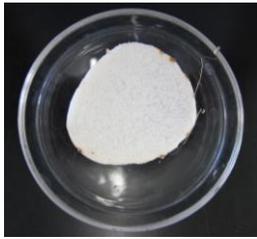


図2 0.3 mmにスライスしたナガイモ



図3 サフランニン溶液

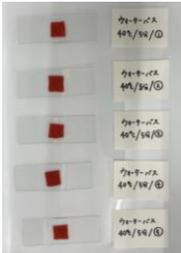


図4 1 cm²に切り取ったナガイモ



図5 密閉袋に入れたナガイモ

3 結果と考察

<実験 I> 加熱温度と時間を変えたときの減少率を調べる

ウォーターバスを用いて、加熱温度を 40 °C、60 °C、80 °C に、また加熱時間を 5 分、10 分、15 分に変化させて加熱した。加熱前後の 1 つの細胞に含まれる結晶数を計測した。

結果

40 °C では、3 つの時間の間で有意差は見られなかった(図 6)。60 °C では、5 分・10 分と、15 分の間で有意差が見られた。80 °C では、細胞内に結晶が見られない細胞が見られた(表 1)。結晶が見つかったものは減少率を算出し、結晶が見つからなかったものは×とした。

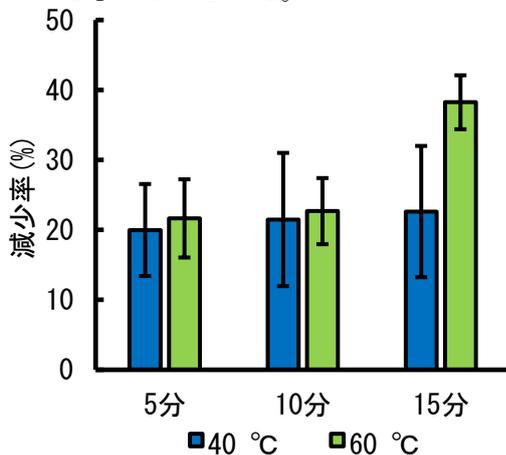


図6 細胞あたりの CaC₂O₄ の減少率 (40 °C・60 °C)

表 1 80 °C での CaC₂O₄ の結晶数の減少率

80 °C	1	2	3	4	5
5 分	37 %	×	×	×	×
10 分	52 %	×	41 %	×	×
15 分	×	×	×	×	×

考察

加熱温度でみると、60 °C の加熱では全ての細胞で結晶が見られ、80 °C の加熱では細胞内に結晶が見られない細胞があった。このことから、70 °C の加熱では全ての細胞で結晶が見られ、80 °C よりさらに高い 90 °C の加熱では、全ての細胞で結晶が見られないと考えた。

また、加熱時間でみると、全ての加熱時間で、加熱温度を上げるにつれ、結晶の減少率が上がる傾向が見られた(図 7、8、9)。このことから、70 °C の加熱では、60 °C の加熱と比べて、全ての加熱時間で結晶の減少率が上がると考えた。

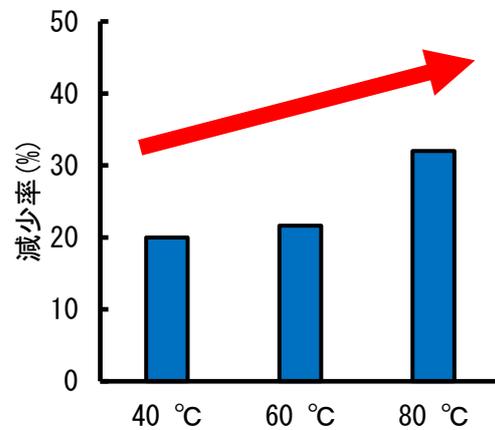


図7 5分加熱した時の細胞あたりの CaC₂O₄ の結晶数の減少率

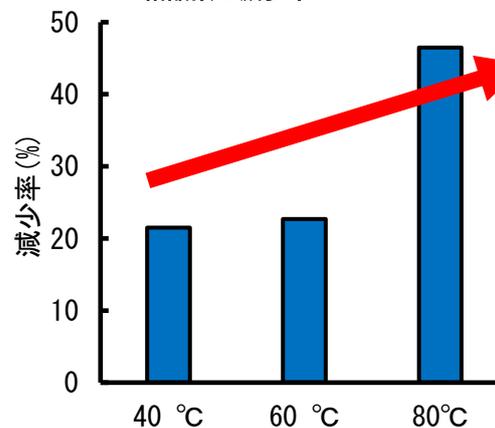


図8 10分加熱した時の細胞あたりの CaC₂O₄ の結晶数の減少率

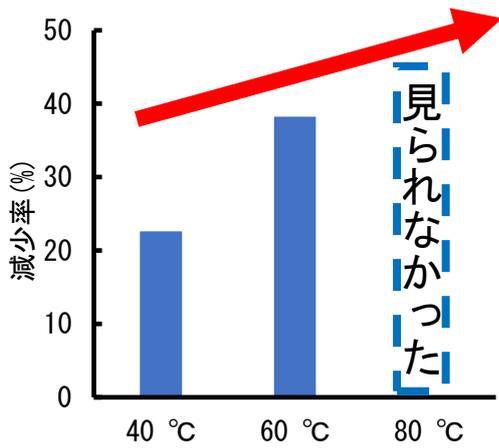


図9 15分加熱した時の細胞当たりのCaC₂O₄の結晶数の減少率

<実験Ⅱ> 80 °C前後の温度で加熱したときの結晶の有無と減少率を調べる

ウォーターバスを用いて、70 °Cと90 °Cでナガイモを加熱し、加熱前後の1つの細胞に含まれる結晶数を計測した。

結果

70 °Cの加熱では、それぞれの減少率は、5分で26 %、10分で34 %、15分で44 %であり、3つの加熱時間の間で有意差が見られた(図 10)。また、60 °Cの加熱と比べて、全ての加熱時間で結晶の減少率が上がった。一方90 °Cの加熱では、ほとんどの細胞で、細胞内に結晶が見られなかった(表 2)。

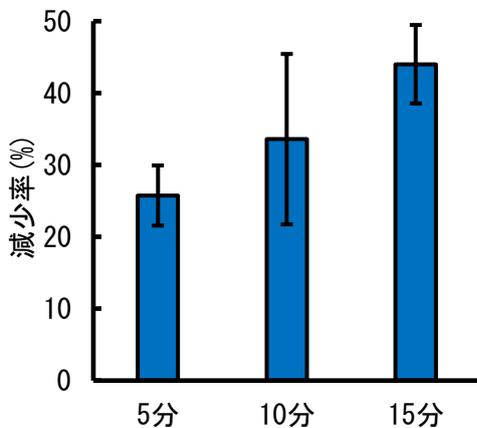


図10 70 °Cでの細胞あたりのCaC₂O₄の結晶数の減少率

表2 90 °CでのCaC₂O₄の結晶数の減少率

90 °C	1	2	3	4	5
5分	×	×	53 %	×	×
10分	×	×	×	×	×
15分	×	×	×	×	×

考察

加熱後に結晶数が減少したり、見られなくなったりしたのは、一定温度以上の加熱によって細胞壁が破壊され、細胞外に結晶が流出したからと考えた。また、その温度は、加熱時間で異なり、90 °Cで完全に結晶が無くならなかった5分の加熱では、90 °Cよりさらに高い温度であり、10分では90 °C以上、15分では80 °C以上であると考えている。

また、ほぼ全ての加熱時間で、加熱時間を長くするにつれ、結晶の減少率が上がったことから、加熱時間が結晶の減少率に影響すると考えられる。

<実験Ⅲ> 加熱後の結晶の行方および加熱前と加熱後のかゆみや痛みの有無を調べる

ナガイモを直接ウォーターバスに入れて、90 °Cで15分加熱し、加熱後のお湯を観察した。また、班員でない複数人の手首の内側に直接加熱前と加熱後のナガイモをつけ、痛みやかゆみが生じたか聞いた。

結果

加熱後のお湯からCaC₂O₄の結晶が観察された(図 11)。また、加熱前と加熱後のナガイモを皮膚につけた際、加熱前のかゆみや痛みが生じなかったが、加熱後はかゆみや痛みが感じられなかった。



図11 ナガイモを加熱した後のお湯から観察されたCaC₂O₄の結晶

考察

加熱により、結晶が細胞外だけでなく、ナガイモの外にも流出したと考えた。また、かゆみは、外部からの刺激が、真皮にある免疫細胞に伝わり、放出されたヒスタミンが知覚神経に伝わることで生じる⁽²⁾。また、表皮の厚さは約0.2 mm⁽³⁾、CaC₂O₄の結晶の長さは約0.1 mmであり⁽⁴⁾、結晶の長さは表皮の厚さよりも短い。そのため、結晶が表皮に刺さることで、刺激が間接的に免疫細胞に伝わる。加熱前は、CaC₂O₄の結晶が束のまま集中的に刺さるためその刺激が大きくなり、かゆみが生じると考えた。それに対して加熱後は、流出した結晶が分散して存在するため、加熱前の束の状態と比べて皮膚に与える刺激が小さくなるため、かゆみを感じられなくなると考えた。

4 結論

ナガイモに含まれるCaC₂O₄の結晶の減少率は、加熱温度と加熱時間の双方に影響される傾向がある。そして、結晶を完全になくならせるには、80℃で15分以上の加熱または90℃で10分以上の加熱が必要である。また、結晶を流出させて分散させることにより、結晶が皮膚に刺さっても、加熱前の束の状態と比べて、皮膚に与える刺激が小さくなるため、かゆみを感じづらくなる可能性がある。

5 今後の展望

今回の実験では、加熱前後の結晶数を目視で計測したが、正確な値であるとは言い切れないため、結晶周辺を顕微鏡で撮影し、画像分析ソフトを使用して色別の面積を調べ、より正確な値を出したい。また、短時間の加熱では、加熱温度によってナガイモの粘度はあまり変化しないことが分かっている⁽⁵⁾。そのため、私たちが結論で提示した80℃で15分以上の加熱や90℃で10分以上の

加熱などの、高温で長時間の加熱では、実際に食べてみた時の味や食感の変化や、加熱による栄養分の変化がどのようになるのか調べたい。

6 参考文献

- (1) Kwankhao Cha-um Sirikorn Sangjun, Kunyapon Prawetchayodom, Cattarin Theerawitaya, Rujira Tisarum, Sukanya Klomklaeng and Suriyan Cha-um. Physiological, Organic and Inorganic Biochemical Changes in the Leaves of Elephant Ear (*Colocasia esculenta* Schott var. *aquatillia*). *The Horticulture Journal* 88 (4), 499-506, 2019
- (2) 小林製薬. “かゆみ・かぶれの原因とメカニズム”
<https://www.kobayashi.co.jp/brand/cure/mechanism/> (参照 2022-11-27)
- (3) 花王株式会社. “皮膚(肌)ってどういう構造をしているの?”
https://www.kao.com/jp/binkanhada/skin_01_02/ (参照 2022-11-27)
- (4) What an Interesting World. “チョコちゃん 山芋でかゆいのはなぜ? 対策はどうする?”
<https://tmbi-joho.com/2022/01/21/chiko161-imo/> (参照 2022-04-20)
- (5) カゴメ株式会社. “[山芋や長芋のとろろ] 加熱&冷凍で粘りは変わる?” 2022-11-18
<https://www.kagome.co.jp/vegeday/nutrition/202201/11962/> (参照 2022-11-26)

ラムスデン現象における 膜の生成量を増加させるには

班員 杉浦 拓真、長田 夕苺、松本 紗綾、輪瀬 一馬
担当教諭 橋谷 広司

キーワード：牛乳、ラムスデン現象、熱変性、等電点

Pickering emulsion is a phenomenon where whey protein and fat of milk becomes a film by heat. The purpose of this experiment was to increase the amount of film produced. First, we investigated the amount of film produced by milk to which nothing was added. Second, we investigated what substances would increase the amount of film produced. Results show that in the Pickering emulsion, adding an acidic liquid with a large pH to milk can increase the amount of film.

1 はじめに

ラムスデン現象とは、牛乳を加熱した際に、牛乳中のホエータンパク質と脂肪が熱変性するとともに、表面の水分が蒸発して膜ができる現象である（図1）。生成される膜はタンパク質やミネラルなどの多くの栄養を含んでいることが知られている。しかし、本校で過去に行ったラムスデン現象についての研究では、口当たりの悪さのため、膜の生成を阻害する実験が行われていた。本研究では逆に栄養価の高い牛乳の膜を増加させ有効活用することを目的とし、実験を行った。

先行研究では膜が現れないようにするには、牛乳を70℃で温めればよいと結論していた。しかし、予備実験において、温める時間が長ければ70℃未満でも膜は生成されるとわかった。そのため、先行研究では牛乳を温める時間を5分、温度を70℃又は80℃と設定していたが、今回は温める時間を15分、温度を60℃とした。

また、先行研究では重曹、小麦粉、片栗粉を加えると膜の生成が阻害されることがわかっている。

先行研究において成分無調整牛乳は商品一つ一つで分量がわずかに異なり、また季節によっても変わるため、安定した結果

を得ることが難しいと述べられていた。そのため、本研究においても成分調整牛乳を用いた。

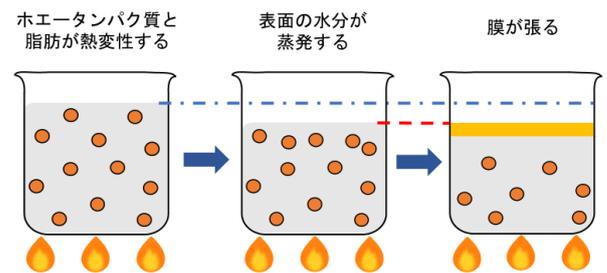


図1 ラムスデン現象の仕組み

2 材料と方法

<実験1>

材料 ・成分調整牛乳（まきばの空）

何も加えていない牛乳で生成される膜の量について調べるため、次の実験を行った。成分調整牛乳100 mLが入ったビーカー3つをウォーターバスを用いて60℃になるまで温めた。その後、それまでにできた膜を取り除き、温度を60℃に保ちながら15分放置した。放置した牛乳から再び膜を取り出し、吸引ろ過してから膜を2日～2週間程度乾燥させた。膜が完全に乾いているのを確認したのち電子天秤で重さをはかった。

<実験2>

- 材料 ・成分調整牛乳（まきばの空）
 ・食酢（穀物酢）
 ・レモン汁（ポッカレモン）
 ・紅茶（Lipton）
 ・緑茶（お〜いお茶）
 ・強炭酸水（伊賀の天然水強炭酸水）

膜の量を増やす方法について調べるため、牛乳に酸性の液体を加え、次の実験を行った。牛乳100 mLが入ったビーカーに酸性の液体（レモン汁、食酢、強炭酸水、紅茶、緑茶）をそれぞれ10 mLずつ加えた(表1)。

表1 加えた液体とpH

加えた液体 (pH)	混合後 (pH)	加熱後 (pH)
レモン汁 (2.7)	4.6	4.0
食酢 (3.1)	4.9	4.7
強炭酸水 (4.6)	6.5	6.1
紅茶 (5.9)	6.8	
緑茶 (6.7)	6.8	

実験1と同様に、それぞれのビーカーを60℃になるまで温めた。膜を取り除いた後、再び60℃に保ちながら15分放置した。放置した牛乳から再び膜を取り出し、吸引ろ過してから膜を自然乾燥させた。膜が完全に乾いているのを確認したのち、重さをはかった。

3 結果

<実験1>

膜の生成量の平均値は、実験を行った日の間で差がみられた(図2)。

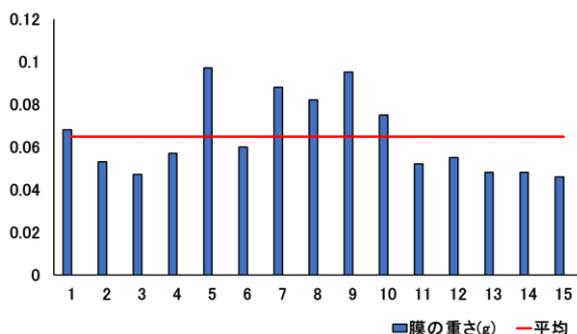


図2 牛乳 100 mL あたりの膜の生成量 (g)

更に、図2の15回分の結果を1~3、4~9、10~15と、実験を行った日ごとに分け、平均すると図3のようになった。なお、日ごとで実験を行った回数は異なっている。また、1~3日目というように記しているが、実験は連続した日に行ったものではなく、それぞれ1週間ずつ期間が空いている。

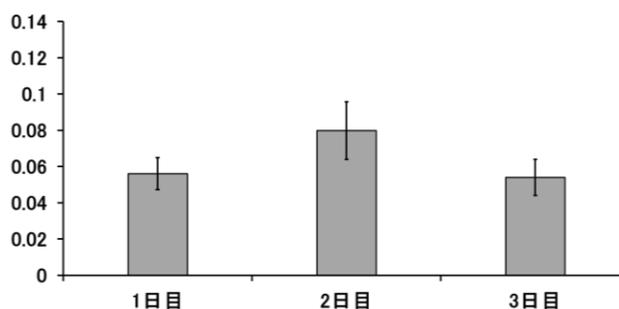


図3 日別の膜の重さ(平均±標準偏差、g)

生成された膜の重さの平均は、1日目が0.056±0.009 g、2日目が0.080±0.016 g、3日目が0.055±0.010 gとなった。

<実験2>

強炭酸水、紅茶、緑茶を加えた場合は膜ができ、各実験で生成した膜の重さの平均値は、実験1で生成した膜の重さの平均値を上回った。pHの小さい強炭酸水、紅茶、緑茶の順に膜の生成量が増加した(図4)。食酢、レモン汁を加えると、膜とは異なる凝固物ができ、沈殿した(図5、図6)。

なお、実験1と同様に15回の試行を実験を行った日ごとに平均した後、その値をさらに平均し、図3に示した値として扱っている。

生成された膜の重さの平均値は、何も加えていないときが0.063±0.012 g、紅茶を加えたときが0.079±0.023 g、緑茶を加えたときが0.073±0.022 g、強炭酸水を加えたときが0.117±0.057 gだった。

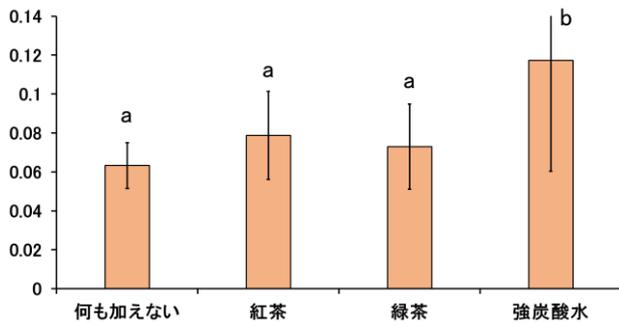


図4 生成した膜の重さ(平均±標準偏差、g)

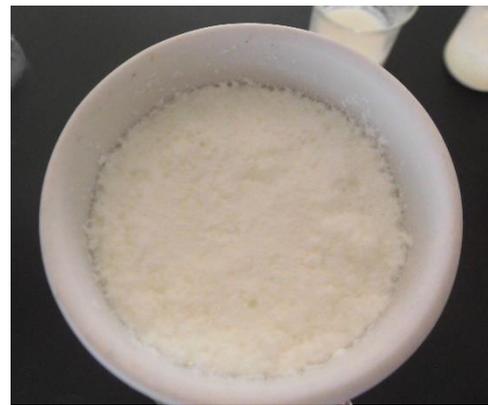


図8 吸引ろ過後の凝固体(レモン汁)

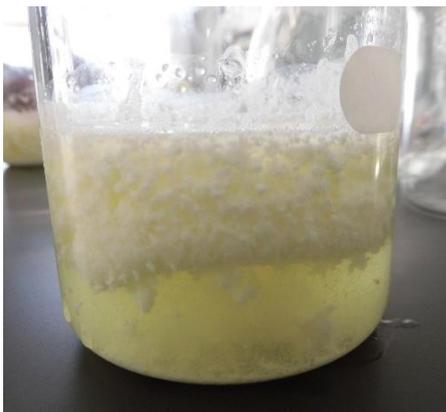


図5 生成された凝固体(食酢)

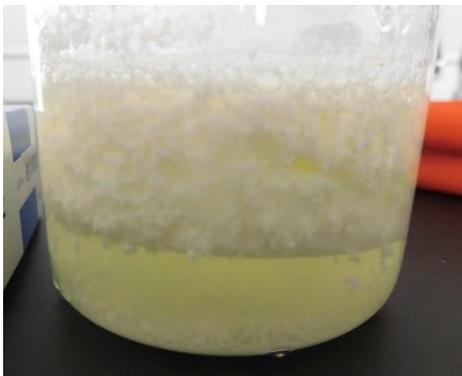


図6 生成された凝固体(レモン汁)



図7 吸引ろ過後の凝固体(食酢)

4 考察

<実験1>

図2、3のように実験を行った日ごとに膜の重さの平均に差がみられたことから、気温や湿度によって牛乳中の水分の蒸発量に変化し、膜の生成量に影響を与えたと考えられる。また、牛乳パックのパッケージに記載された成分表示表より、使用した牛乳の成分の違いも生成量に影響を与えたと考えられる。

<実験2>

牛乳に含まれるタンパク質のおよそ80%はカゼインであり、その他のタンパク質はホエータンパク質と呼ばれる。牛乳の膜はほとんどカゼイン以外のホエータンパク質からできている。

カゼインは酸によって固まる性質がある。そのため、実験でpHが小さいほど膜の重さが増えたのは、牛乳に酸性の液体を加えた際に一部のカゼインが変性してホエータンパク質とともに膜になったためだと考えられる。

また参考文献には、乳または乳から得られる原料を凝固させ、この凝固体より分離するホエーを部分的に流出させることで得られるものがチーズであると述べられていた。そのため、牛乳に食酢やレモン汁を加えた際に生成された凝固体はチーズであると考えられる。

また、この際、牛乳中のカゼインが酸と反応

し、温めたことによって更に等電点であるpH 4.6に近くなり、脂肪を包み込んで凝固したと考えられる。等電点ではタンパク質のプラスマイナスの荷電が等しくなり、粒子同士が結合しやすくなることで溶解度が減少することが知られている。カゼインは特にこの等電点の性質を持っているため、pH4.6になったときに凝固して沈殿する。

ラムスデン現象において生成される膜は主にホエータンぱく質からできており、これはカゼインからできているチーズとは異なるものである。つまり、牛乳に食酢やレモン汁を加えたときに凝固物が生成されたのはラムスデン現象によるものではないと考える。

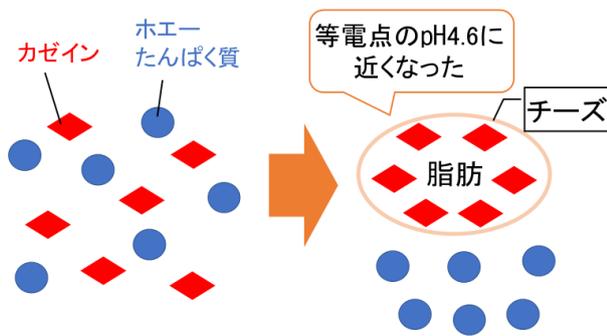


図9 カゼインが酸と反応し、凝固する様子

5 結論

ラムスデン現象において、牛乳に凝固物(チーズ)が生成されない程度にpHの大きい酸性の液体を加えると、膜の生成量を増やすことができる。

6 今後の展望

今回の実験では、食酢やレモン汁のようにpHの小さい酸性の液体を加えると、チーズが生成された。しかし、pHの小さい酸性の液体でも加える量が少なければ膜の生成量を増やすことができると予想している。そのため、牛乳に加える液体の量を変えて、膜の生成量の変化を

調べたい。

また、アルカリ性や酸性の液体でも膜の生成量が増えるのかを調べるため、アルカリ性や酸性の液体も加えて実験を行いたい。その際加える液体としては、アルカリ性や中性の調味料が少ないため、アルカリ電解水やミネラルウォーターを検討している。

7 参考文献

- (1) 岡崎紗英、清水ありさ、中川みらい、山岸千夏. ラムスデン現象における膜の発生条件. 平成29年度理数科課題研究論文集. 2021. p. 21 - 24
- (2) 一般社団法人 日本乳牛協会. 乳と乳製品のQ&A. 牛乳を温めると表面に薄い膜ができるのはなぜですか?. 2010
https://nyukyuu.jp/dairyqa/2107_005_475/ (参照2022-11)
- (3) 奈良県牛乳商業組合. 牛乳に関するQ&A. (Q26)・牛乳に、レモン汁を入れると、何故、沈殿が生じるんですか?. 2016
<http://www.nara-gyunyuya.com/qa/26.htm>, (参照2022-12-21)
- (4) 雪印メグミルク株式会社 チーズクラブ Cheese Club. チーズの定義. チーズの基本的な作り方～ナチュラルチーズとプロセスチーズ～
<https://www.meg-snow.com/cheeseclub/knowledge/jiten/base/teigi/> (参照2022-11)

粘性を持つ流体が受ける抵抗による 加速度の変化から行う粘度分析

班員 石坂 聖也、北原 誓也、島崎 聖大、出崎 翔大
担当教諭 井藤 龍真

キーワード：粘度、波、ダイラタンシー、

In this experiment, in order to measure the viscosity of a fluid, we utilized a mechanical dolly with a velocity sensor and considered the viscosity from the change in acceleration due to the viscosity of the fluid. When attempting to measure the viscosity at the yam, an increase or decrease in acceleration was observed in several graphs. As a result of comparison experiments with water and dilatant fluids, we considered that the increase or decrease in acceleration at the Tororo was due to the generation of waves and the dilatant fluid-like properties of the fluid.

1 はじめに

粘度を求める測定方法⁽¹⁾は細管式、落球式、回転式、振動式など様々な方法があるが、様々な流体を測定できるデジタル粘度計は高価であることや、安価な装置では測定できる流体に限られるという欠点がある。そこで、比較的安価で、様々な流体の粘度を測定する方法を、本校にある道具を使って確立したいと考えた。

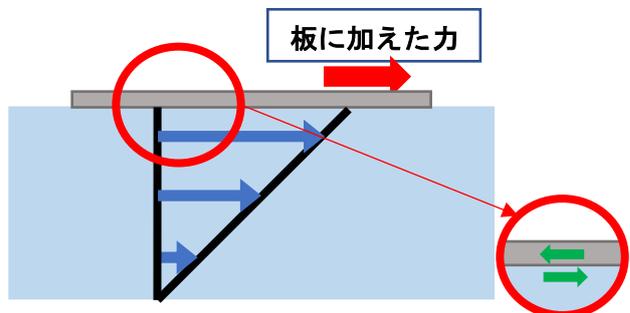
粘度 μ [Pa・s] を定義する式は、 τ [Pa] を剪断応力、 U [m/s] を速度、 H [m] を板間距離とし、次で表される。

$$\tau = \mu \frac{U}{H} \quad \dots\dots \text{①}$$

定義式①より、板間距離 H を固定すれば剪断応力 τ が速度 U に比例し、横軸を速度 U 、縦軸を剪断応力 τ としたグラフの傾きで粘度 μ を求められる。

ここで、粘性によって生じる力を考えるために、2枚の板に挟まれた流体の流れを考える。上の板を右向きに動かすと、粘性を持った流体により板は進行方向である右向きと逆の左向きの力を受ける(図1)。一方、板の下部では粘性を持つ流体の内部摩擦によ

り、力を加えた板の進行方向である右向きに流体は動く。このように板に平行な方向に働く力のことを剪断力といい、板1m²当たりの剪断力のことを剪断応力という。



私た 図1 剪断応力の説明の図 することが難しいと感じた。速度が上がり剪断応力が大きくなると、加速度は減少すると考え、横軸を速度、縦軸を加速度としたグラフの傾きを用いることで、粘度を求める式を定義できるのではないかと考えた(図2)。

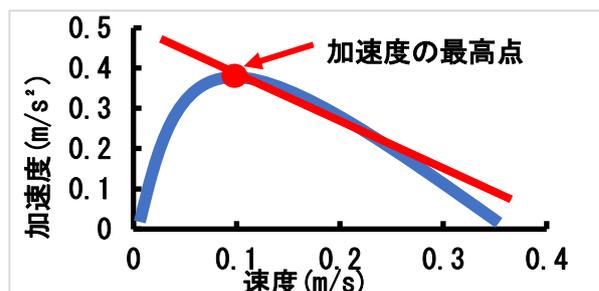


図2 仮説で考えた速度と加速度のグラフ

2 材料と方法

本校における課題研究のダイラタンシー現象を調べる実験⁽²⁾で使用されていた装置を参考にし、流体をプラスチック容器に入れ、速度センサー付き力学台車(図3)の上に養生テープで固定した。この容器の底に触れないよう、縦にした金属棒を流体のなかに挿入し、スタンドで固定した状態で滑車と重りを用いて力学台車を引っ張った(図4)。



図3 力学台車 スマートカート
(株式会社島津理化)

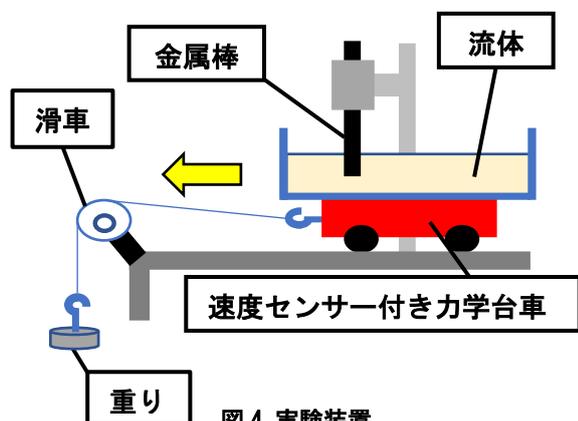


図4 実験装置

これにより、台車が進むときに、固定した棒は流体から、台車の進行方向の力を加えられるが、その反作用として流体は棒から抵抗を受ける。この棒からの抵抗を、流体が受ける剪断応力とみなした(図5)。

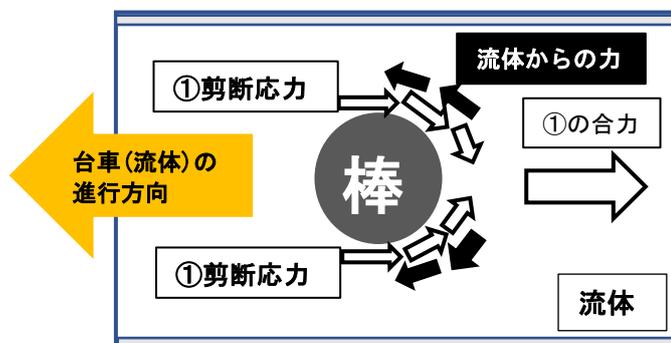


図5 実験において台車を上から見た図

さまざまな流体を用い、力学台車の速度と加

速度の変化をグラフ化し、加速度の最高点からの近似直線の傾きを比較することで、粘度を定められるのではないかと考えた。しかし、実際に実験を行い、グラフ化すると加速度の増減が見られたため、その要因を考察した。最初の実験では、身近にあるとろろを流体として用いた。

3 実験結果・考察

〈実験Ⅰ〉

とろろ 300 mL(重り 10 g)での加速度の変化を容器の端に金属棒がぶつかるまで測定した。

結果

加速度は速度0.114 m/sのときに最大(0.225 m/s²)になり、その後速度の上昇とともに直線的に減少した。そして速度0.186 m/sから上昇し、速度0.228 m/sから再び減少した(図6)。このように加速度は速度の上昇ともなっており、増減する傾向が見られた。

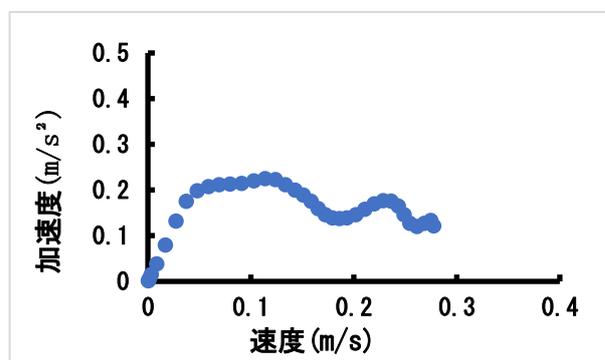


図6 とろろ 300 mL(重り 10 g)での測定

考察

加速度の増減の要因として、とろろの粘性に特有の性質があるのではないかと考えた。

〈実験Ⅱ〉

とろろの粘性により加速度の増減が発生したと考えたため、実験Ⅰの比較実験として、とろろと比べ粘度が低い水300 mL(重り 10 g)での加速度の変化を容器の端に金属棒がぶつかるまで測定した。仮説として加速度は増減せず直線的に単調減少すると考えた。

結果

加速度は速度0.046 m/sのときに最大(0.334 m/s²)になり、その後速度の上昇とともに直線的に減少した。そして速度0.164 m/sから上昇し、速度0.254 m/sから再び減少した(図7)。このように水でもとろろのときと同様に加速度は速度の上昇にともなって、増減する傾向が見られた。

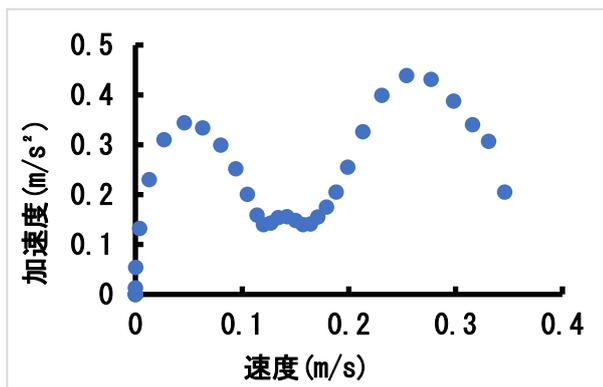


図7 水 300 mL(重り 10 g)での測定

考察

直線的に減少せず増減した理由を探るために、デジタルカメラを用いて水面を撮影すると、加速度が増加するタイミングで水面が下がり、加速度が減少するタイミングで水面が上がる様子が確認された。このことから、水での加速度の増減の要因は発生した波の影響ではないかと考えた。また、とろろでも同様に波が発生したと考えられ、とろろでの加速度の増減の要因も発生した波によるものではないかと考えた。

〈実験Ⅲ〉

予備実験を行っていたときに、多量のとろろを用いて台車の動きを観察すると、台車が停止と運動を繰り返していた。通常は液体のようにふるまう流体が衝撃を与えると粒子の隙間が大きくなって表面の水が内部に移動し表面が乾いた状態になって抵抗力を生じ、固体のようにふるまう。この現象をダイラタンシー現象といい、この現象を示す流体をダイラタント流体という。とろろのグラフで加速度が増減した理由は、とろろにダイラ

ント流体のような性質があるためではないかと考えた。速度が増加するときにとろろが固体のようにふるまうことで抵抗が大きくなり加速度が減少し、液体に戻ることで加速度が再増加することを繰り返していたためではないかと考え実験を行った。

ここではとろろとダイラタント流体(水と片栗粉を1:2で混ぜた物) 800mLでそれぞれ加速度の変化を測定した。

結果

どちらにも加速度と速度が減少と再増加を繰り返す渦巻き状のグラフが見られた(図8、図9)。加速度と速度の減少が起きるタイミングでは、台車が一時停止していた。

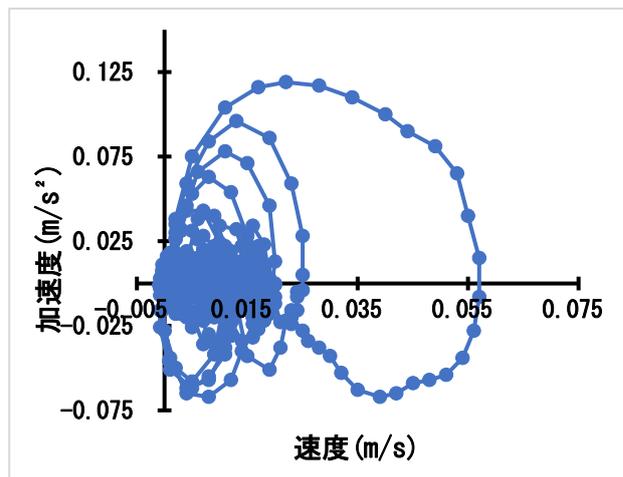


図8 とろろ 800 mL(重り 20 g)での測定

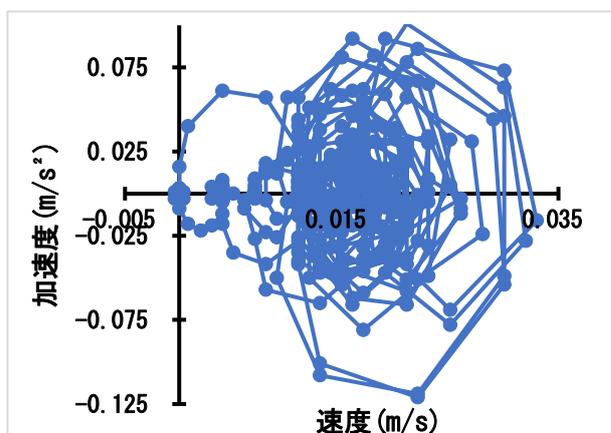


図9 1:2の水と片栗粉(ダイラタント流体) 800 mL(重り 20 g)での測定

考察

ダイラタント流体で見られた渦巻き状のグラフがとろろでも同様に見られた。撮影した動

画ではどちらの台車も似たような動きをしたため、とろろにダイラタント流体のような性質があると考えた。しかし、とろろがダイラタント流体だと断定するには根拠が不十分であるため、衝撃を加えた際のとろろの粒子と水の移動を顕微鏡で観察するなど、これらの他にダイラタント流体としての特徴を確認する実験によりダイラタント流体であるかを調べる必要がある。

4 結論

様々な流体の粘度を安価な器具を用いて測定するために考察した方法では、グラフの加速度が増減したため粘度を定義付けするまでに至らなかった。このグラフの増減の原因は、目に見えない波が発生したこと、とろろのダイラタント流体のような性質によるものである可能性が高い。また、とろろと水の比較実験において、それぞれグラフの増減の仕方に違いがあり、これら2つ以外の要因もあると考えられた。

5 今後の展望

グラフの加速度の増減の要因を解明し、新たな粘度測定の方法を確立したい。そのために、すでに粘度が知られている流体（ビンガム流体、塑性流体、ダイラタント流体、ニュートン流体など）を用いて流体の種類によってグラフの概形にどのような特徴があるのかを調べたい。

また、加速度の増減の程度がグラフの右に行くにつれて小さくなっていった。このことは時間経過とともに波が減衰することや、容器内に発生した波同士が互いに打ち消しあうことで波が小さくなり、波が棒に加える力が弱まるためであると考えた。そこで波がないとみなせるほどより長い時間測定するために、実験に用いるプラスチック容器を十分長くして実験を行い、波の影響を抑えることで粘性以外の要因を排除し、粘性を定義していきたい。

6 参考文献

- (1) “粘土測定の基礎知識” 分析計測ジャーナル
(参照2023-04-23)
https://bunseki-keisoku.com/article/normal/viscometer_measuring_device
- (2) 大田 采音、干場 開晴、細谷 一心、森田 結衣. 様々な条件下におけるダイラタンシー現象の抵抗力の変化について. 令和三年度七尾高校課題研究論文集
- (3) “粘度と動粘度 - 機械設計エンジニアの基礎知識” MONOWEB
(参照2022-04-20)
<https://d-engineer.com/fluid/nendo.html>
- (4) “文系でもわかるレオロジー” PREMIX
(参照 2022-10-31)
https://www.primix.jp/mixer_lecture/vol2/02.html
- (5) “粘度一覧表” テムコファイン株式会社
(参照 2022-10-10)
<https://temcofine.co.jp/img/PDF/nendo.pdf>
- (6) “熱流体解析の基礎 15” HEXAGON
(参照 2023-10-10)
<https://www.cradle.co.jp/media/column/a175>

加熱がバナナとネギの部位間の糖度変化に与える影響

班員 岡本 真奈 田村 有逢 松本 ちなみ 宮腰 光里
担当教諭 今田 拓伸

キーワード：バナナ ネギ 糖度変化 加熱

It is said that leeks (*Allium fistulosum*) and bananas (*Musa spp.*) become sweeter with heating. In this study, the goal was to research the differences in the effect of heating on sugar content between portions of the bodies that have not been examined in previous studies. Leeks and bananas were heated and measured sugar content changes. As a result, the sugar content of leeks was found to decrease with hot water heating and increase with microwave heating. The sugar content of bananas was found to increase or decrease at different portions and temperatures.

1 はじめに

ネギとバナナは加熱することで甘くなるといわれている。先行研究では、ネギが加熱すると甘くなるのは、加熱によって辛味成分である硫化アリルが揮発して辛味が少なくなり、甘味をより感じやすくなるためであるとされている。また、バナナが加熱すると甘くなるのは、加熱によってバナナアミラーゼが活性化しデンプンの糖化が進行するためであるとされている。本研究では、先行研究では着目されていなかった部位間の加熱による糖度変化の違いについて調べることを目的として研究を行った。この研究により、家庭での調理において食材を有効活用し、食品ロスを防ぐことに役立つと考える。

2 実験1 バナナ・ネギの湯煎した際の糖度変化

<実験方法>

バナナ・ネギを湯煎により加熱し、糖度の変化を調べた。

湯煎には一定の温度を保つことができるウォーターバスを使用した。加熱後、試料を乳鉢ですりつぶし、糖度計測した。糖度の変化を調

べるため、比較としてそれぞれ常温の際の糖度を計測した。計測にはポケット糖度計「PAL-1」を使用した(図1)。この糖度計は、水に溶け込んでいる固形分の濃度であるBrix値を測定する。

バナナとネギは、実験当日に購入した。ネギは根深ネギを使用した。



図1 ポケット糖度計「PAL-1」

バナナとネギの加熱・計測法について、以下に詳細を示す。

①バナナ

皮の付いたバナナを80℃・90℃で10分間湯煎した。湯煎後、5分間常温で放置した。茎から先端まで9等分にし(図2)、タピオカストローを使って内果皮と中果皮にわけ(図3、4)、それぞれ糖度を計測した。

②ネギ

ネギの葉鞘から葉身間を3等分にし(図5)、それぞれ蒸留水100mLと共に密閉袋(ジップロック)に入れ、100℃で4分間湯煎した。湯煎後、ネギをさらに10等分し、合計30個に分割して、糖度をそれぞれ計測した。また、湯煎に使用した蒸留水の糖度も湯煎の前後で計測した。

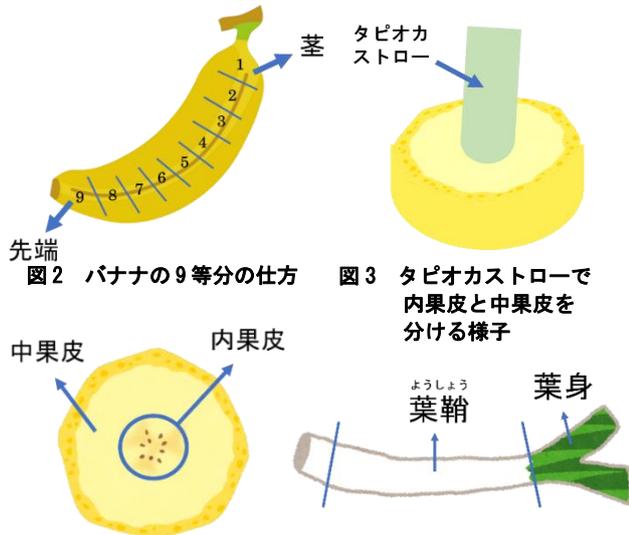


図4 バナナの果実の各部位

図5 実験に用いたネギの各部位

<実験結果と考察>

①バナナ

・結果

加熱すると常温の糖度と比べ内果皮の糖度は全体的に上がった(図6)。中果皮の糖度は全体的に下がった(図7)。

・考察

バナナの糖度が湯煎によって変化したのはバナナアミラーゼ(βアミラーゼ)のはたらきによると考えた。バナナの糖度変化にはバナナアミラーゼが関係している(小島, 2000)。バナナアミラーゼはデンプンを糖化する作用を持ち、37度前後で活性化する(朝倉, 2018)。内果皮と中果皮での糖度変化の違いは、この活性化温度に関係するのかもしれない。このことについて、実験2を行った。つまり、糖度が上がった内果皮は37度前後に加熱され、糖度が下がった中果皮は37度より高温になったために違いが生じたのかもしれないと仮説をたて、次

の実験を行った。

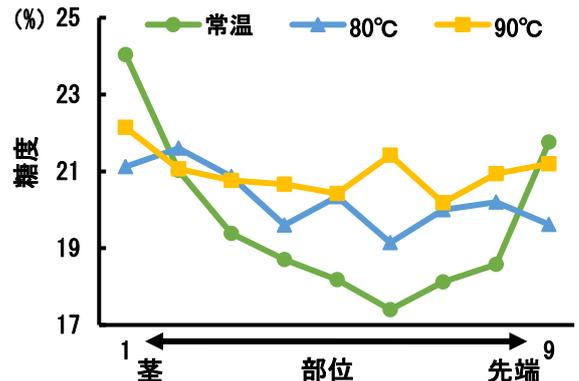


図6 バナナの内果皮常温 80℃・90℃の糖度

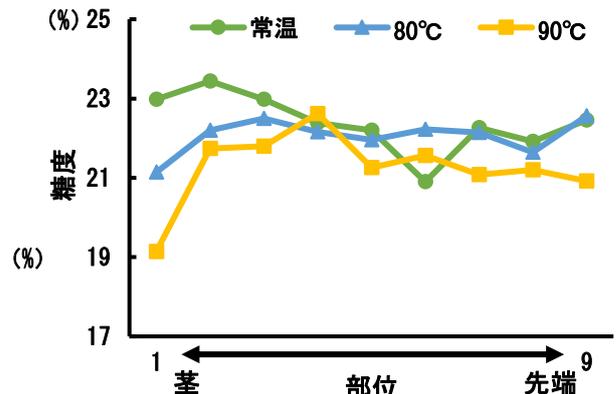


図7 バナナの中果皮常温 80℃・90℃の糖度

②ネギ

・結果

湯煎により糖度は全体的に下がった(図8)。常温ネギと湯煎ネギの間での糖度差は葉鞘側の部位よりも葉身側の部位の方が大きく、有意差があり(t検定 p<0.001)。ネギの糖度は、葉鞘側より葉身側のほうで大きく減少した。一方で、湯煎に使用した水の糖度は葉身側で最も高かった(表1)。

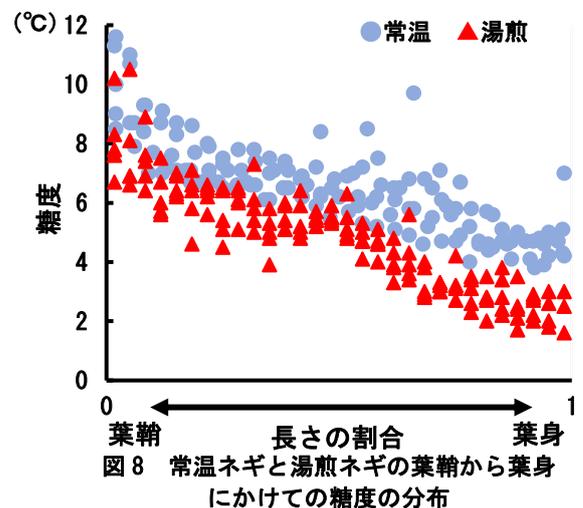


図8 常温ネギと湯煎ネギの葉鞘から葉身にかけての糖度の分布

表1 湯煎に使用した水の加熱後の糖度

加熱後の糖度	
葉鞘側	0.1
中央	0.1
葉身側	0.4

・考察

湯煎に使用した水の糖度が、実験後に上昇したことから、ネギの糖度が湯煎によって下がったのは、水溶性である糖分がお湯に溶けだしたからと考えた。また、ネギの葉身には「ヌル」とよばれる水溶性の粘質物が存在する。さらに、葉身は葉鞘に比べ葉先が空洞である分、水に触れる表面積が大きくなる。このため、葉身側でヌルが多く溶けだしたことで葉鞘側よりも葉身側のほうで糖度が大きく減少したと考えた(図9)。



図9 葉身に含まれる「ヌル」

ネギは加熱することで甘くなるといわれている。しかし、この実験からネギは湯煎することで糖分が失われ、全体的に甘さが減少することが分かった。このことより、水を使わずに加熱すればネギ内の糖分が失われることなく、糖度を上げることができると考え、実験3を行った。

●以下に実験1の考察を検証する実験2・3を示す。

3 実験2 バナナ.内果皮と中果皮の湯煎時の温度について

・方法

実験1と同様にバナナを湯煎、分割した直後、ワイヤレス温度センサを使って内果皮と中果皮の温度を計測した。

・結果

すべての条件でバナナの実の温度は30℃から45℃であった(図11、12)。

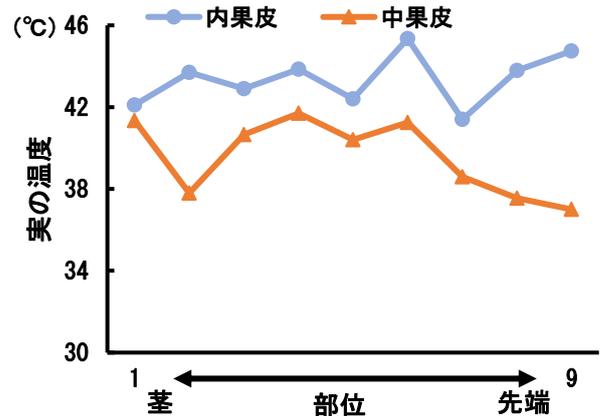


図11 80°Cで湯煎した実の温度の変化

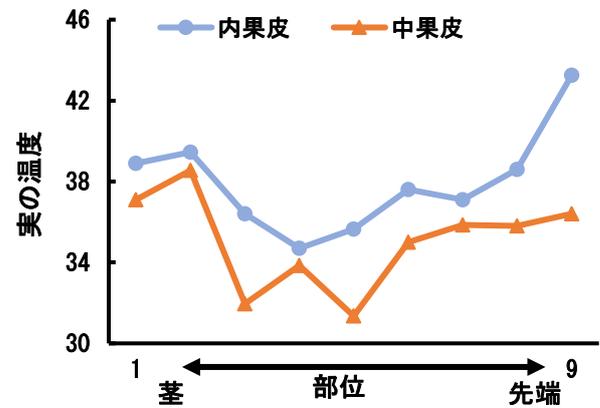


図12 90°Cで湯煎した実の温度の変化

・考察

湯煎後は内果皮と中果皮で温度に大きな違いがなかった。このことから、湯煎前のバナナアミラーゼに着目した。内果皮は湯煎前の糖度が低かったことから、湯煎前はバナナアミラーゼが活性化しておらず、湯煎後にバナナアミラーゼが活性化し糖度が上がったと考えた。中果皮は湯煎前の糖度が高かったことから、湯煎前に温度以外の別の要因でバナナアミラーゼが活性化していたと考えた。

4 実験3 電子レンジにより加熱したネギの糖度

・方法

ネギを3等分にし、密閉袋（ジップロック）に入れ、電子レンジ（500W）で3分間加熱した。加熱後、実験1と同様に糖度を計測した。

・結果

レンジで加熱すると糖度は全体的に上がった（図13）。また、レンジ加熱後の密閉袋内に水分が見られた（図14）。この水分の糖度を計測したところ、どの部位でも糖度が含まれていたが、部位間で差はなかった（表2）。

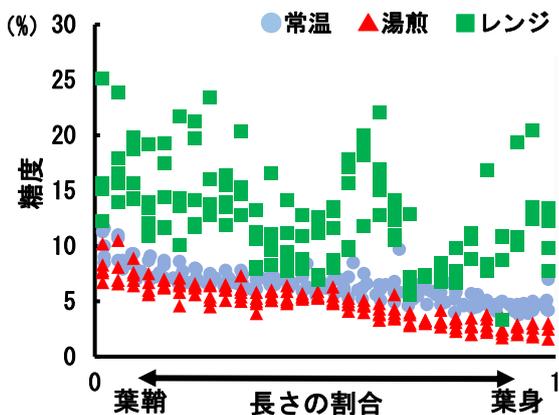


図13 常温ネギと湯煎ネギとレンジネギの葉鞘から葉身にかけての糖度の分布



図14 ネギのレンジ加熱後に見られた水分

表2 レンジ加熱後の袋に溜まっていた水分の糖度

レンジ加熱後の水分の糖度	
葉鞘側	0.8
中央	1.0
葉身側	0.5

・考察

レンジ加熱後の袋内に水分が見られたことから、ネギの糖度がレンジ加熱によって上がったのは、加熱によってネギの水分が蒸発し、ネギ内の糖分の割合が高くなったからであると考えた。また、レンジ加熱後の袋に溜まっていた水分に糖度が計測されたのは、レンジ加熱中にネギの切り口からネギの糖分を含む液体が流出したからであると考えられる。

3 結論

バナナは湯煎することで内果皮の糖度が上がり、甘くなる。ネギは湯煎によって全体的に糖度が下がり甘さが減少するが、下がり方は葉鞘側より葉身側の方が大きい。また、レンジ加熱によって全体的に糖度が上がって甘くなり、甘さの増加に部位ごとの差はない。

4 今後の展望

① バナナ

中果皮の糖度が湯煎で下がった要因を調べたい。さらに、湯煎する以前に中果皮でアミラーゼが活性化していたと考えたが、この要因を温度以外の観点から探りたい。そして、湯煎したことでアミラーゼによるデンプンの糖化が実際に起きたか調べたい。

②ネギ

葉身部分に含まれる粘質物の「ヌル」は水溶性の成分や果糖を含んでいる。今後は「ヌル」がお湯に溶けだしたのか調べたい。また、レンジ加熱実験の際に、ネギの糖分の濃度が上がったと考察したが、この考察が正しいか確かめたい。

5 参考文献

- (1)小島昌夫. バナナの果肉細胞を用いた生物実験. 2000
- (2)池羽智子, 貝塚隆史, 鹿島恭子. 甘みと硬さによるネギのおいしさ評価. 2011
- (3)朝倉陽暉. 消化酵素の研究②～なぜバナナに消化酵素があるのか～. 2018

日中の天体観測における 植毛紙を用いたフード延長の効果

班員 境谷 佳純、塩崎 桃子、中野谷 蒼汰 山下 未来
担当教諭 北原 点

キーワード：日中の天体観測、植毛紙、フード

In order to facilitate daytime astronomical observations, we researched the effect of extending the hood by using a piece of flocking paper. The results showed that the use of the paper reduced the influence of scattered light and increased the clarity of the celestial objects. This result suggests that the use of flocking paper can facilitate astronomical observations during the daytime.

1 はじめに

1.1 研究背景

本校（七尾高校）には天文ドームがあり、2020年にはそこで天体望遠鏡を用いて、植毛紙（図1）を使った日中の天体観測についての研究が行われていた。植毛紙とは、化学繊維を紙面に直立した状態で植毛させて作られた紙で、その構造によって散乱光の反射を抑えられるため、日中の天体観測に適することが分かっている。また、フード（図2）は天体望遠鏡に接続することで散乱光の侵入を防ぐことができる。



図1 植毛紙



図2 フード

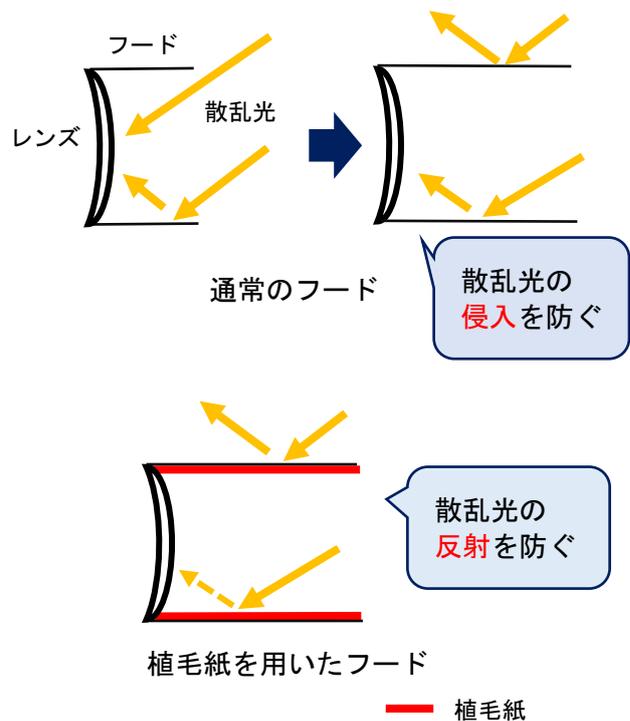


図3 フード、植毛紙の効果

先行研究では植毛紙を用いたフード延長実験が行われ、その結果、観測には最適なフードの長さが存在すると考えられている。そこで、より精度の高い観測方法を探り、最適なフードの長さを特定するために（日中の天体観測における植毛紙の効果を明らかにするために）この研究を引き継いだ。

より精度の高い結果を得るために以下の二点を変更した。一つ目はフードの長さを10 cm区切りから5 cm区切りに細かくした。二つ目は画像の保存方法をJPEGから、天文分野の研究によく使われるFITSに変更した。

1.2 研究意義

高校生にとって、日没後に天体観測を行うことは学校の下校時刻を過ぎて活動することになるため、困難である。故に日中に観測することになるが、日中に天体観測を行うことは散乱光の影響や、天体と周りの空の明るさの差が小さいために困難である。また、日中の天体観測についての研究は少なく、まだ不明な点が多い。この研究を行うことで、日中の天体観測の効果的な方法を確立させ、全国の天文部の活動の幅を広げることが可能になると考えた。

2 材料と方法

屈折式望遠鏡 (Vixen:有効直径113 mm, 焦点距離795 mm, 図5)

CCDカメラ (セレストロン: SKYRIS445C)

望遠鏡制御ソフト (ATLAS Professional、The Sky6)

画像処理ソフト (Registax6)

測光ソフト (Makali`i)

植毛紙を工作用紙に貼り付け、筒状にしたフードを、5 cmから60 cmまで5 cm区切りで作成した(図4)。ATLAS Professionalと、The Sky6 というコンピュータ制御ソフトを用いて、対象の天体(表1)を望遠鏡に導入した。フードを望遠鏡(図5)に接続し、CCDカメラ(図6)を用いて10秒間の動画を各長さのフードごとに3回撮影した。このうち最も撮影状況の良かった動画を、Registax6を用いてスタッキングし、作成された静止画をFITS形式で保存した。スタッキングとは、動画のフレームを重ね合わせて静止画にする処理のことである。動画の各フレームに写っている天体は、大気の揺らぎの影響で像の位置が揺らいでいるが、スタッキン

グを行うことで、単に静止画を撮影するより高精細な画像が得られる。その後、開口測光分析を行った(図7)。開口測光分析とは、天体の明るさから周辺の空の明るさを差し引くことによって天体自体の明るさを求める方法である。私たちは開口測光分析によって得られた天体自体の明るさを、天体画像の明瞭さと定義した。



図4 長さの異なるフード



図5 使用した望遠鏡



図6 CCDカメラ

表1 観測した天体

観測した天体	等級	観測した日付
アークトゥルス	0.0	8月19日
ベガ	0.0	9月5日
カペラ	0.1d	8月8日
アルタイル	0.8	9月5日
スピカ	1.0d	8月19日
デネブ	1.2	9月5日

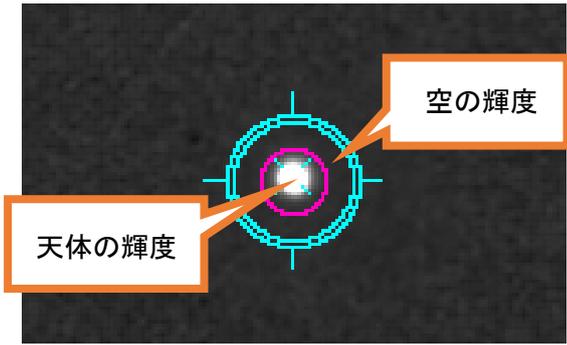


図7 開口測光分析

3 結果

フードをつけた時のほうが天体画像はより明瞭になった(図8)。すべての天体で、フードをつけているときのほうがつけていないときより明瞭さが上がった。フードを長くするとそれにつれておおむね明瞭さが上がった(図9)。すべての天体で、フードの長さとおおむね明瞭さに正の相関がみられ、特にベガ、デネブ、アルタイルでは相関係数が0.9を超えるという強い正の相関がみられた(表2)。また、グラフでの近似直線の傾きは、各天体で異なっていた。



図8 アルタイルの天体画像
上: フードなし 下: 60 cmのフード

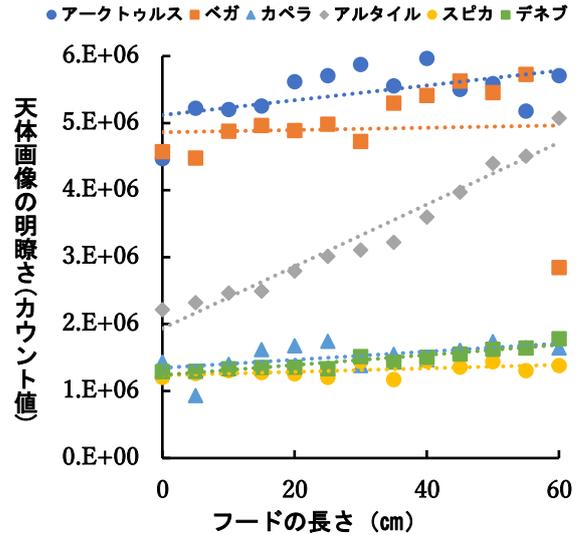


図9 各天体におけるフードの長さに対する天体画像の明瞭さ

表2 相関係数

観測した日付	観測した天体	相関係数	近似直線の傾き
8/8 (雲)	カペラ	0.548	6076.2
8/19(雲)	アークトゥルス	0.552	11051
	スピカ	0.538	2607.8
9/5	ベガ	0.917	20956
	アルタイル	0.976	46240
	デネブ	0.946	7505.8

※ベガは0~55 cm

4 考察

植毛紙を用いたフードを望遠鏡に接続することで天体は観測しやすくなり、フードを延長するとその効果はより大きくなった。これはフードが散乱光の影響を防いだからだと考えられる。また、60 cmのフードを装着して撮影したベガの画像では、天体画像の明瞭さが急激に下がっていた。これは、撮影時の大気の揺らぎの影響で天体画像がぼやけたためにスタッキングがうまくいかなかったことや、フードが光軸と平行になっていなかったために天体光がフードに遮られてしまったことが原因だと考えられる。

〈天候と相関係数の関係について〉

9月5日に撮影したベガ、アルタイル、デネブは、8月8日、8月19日に撮影したカペラ、アークトゥルス、スピカに比べ、強い正の相関がみられた(表2)。撮影した日の天候状況に着目すると、雲や霞がなく晴れた日ほど、フードの長さや天体画像の明瞭さとの相関が強い。これは晴れた日では天体の光が遮られず、空との輝度差が大きくなるためと考えられる。

〈近似直線について〉

近似直線の傾きが各天体で異なった(表2)が、これは、見かけの等級によるものだと考えられる。カペラ、スピカ、デネブは見かけの等級が比較的小さいため、フードにより散乱光を遮っても明瞭さに影響がなく、近似直線の傾きが小さくなったと考えられる。また、比較的等級の大きいアークトゥルス、ベガは、カウント値が飽和している可能性があると考えた。CCDカメラは、各画素が光子を受けるとそれを電子に変換して蓄える。蓄えることのできる電子の量には上限があるため、より強い光を受けるとより多くの電子が発生して上限を超えてしまい、測定できなくなる。このようになった状態を飽和といい、アークトゥルスとベガはこれが原因で明瞭さにあまり変化が見られなかったと考えた。

5 今後の展望

今回の実験で飽和していた可能性があるアークトゥルス、ベガなどの明るい星についてより正確な結果を得るため、ピントをずらし、CCDカメラの1画素が受け取る光の量を少なくして動画を撮影したい。また、今回私たちは見かけの等級が比較的大きい1等星を撮影してきたので、2等級程度の星も撮影し、比較的暗い星に対する植毛紙の効果について調べたい。

6 参考文献

(1) 荒邦早紀, 中山健斗, 小倉千愛, 畝くるみ.

日中における天体の観測について. 第22回
ジュニアセッション予稿集

2020. vol122, no50, p59

(2) 荒邦早紀, 小倉千愛, 町駒 陸. 日中における天体観測の精度の追求. 第23回ジュニアセッション予稿集

2021. vol123, no4, p13

(3) 理科年表2021. 丸善出版株式会社. 2020.
p. 109-111

(4) Registax 6の使い方 - Starry Urban Sky
(参照2022-07-06)

(5) Bunji SUZUKI(original)2004-02-10, Reiko FURUSYO(revised)2007-01-06. マカリ : Makali`I 超入門編(参照2022-09-14)

高温環境下における輪ゴムの劣化の抑制手段

班員 安達 直恭、竹口 幸哉、花島 圭祐
担当教諭 吉村 彰志

キーワード：ゴム、劣化、酸化

Preliminary research has shown that rubber degradation is more closely related to temperature than to time. In order to find a means of controlling the deterioration of rubber, various treatments were performed on rubber bands. After the manipulations, the rubber bands were placed in a space at 80°C and the degree of deterioration was compared. The results showed that rubber bands were prevented from deteriorating under the conditions of coloring with a pen and immersion in a liquid. These results suggest that coating the surface of the rubber bands to inhibit the acceleration of oxidation can reduce deterioration.

1 はじめに

私たちの身の回りには多くのゴム製品がある。ゴム製品をより長い期間使えるようになれば、ゴム製品を買い替える費用やゴム製品の劣化により発生する事故の危険を抑えられると考え、ゴムの劣化を抑制する手段を見つけることを目的として本研究を始めた。ゴムの劣化には軟化と硬化があり、主に酸化によって起こると先行研究によって分かっている⁽¹⁾。また、ゴムが硬化する（硬度3Hsアップ）には10°Cに保った状態で17年、30°Cで保った状態で1.6年と非常に長い時間かかることが知られている。そのため私たちは硬化よりも短い期間で劣化を観察できる軟化劣化に注目して実験を行った。



図1 劣化したタイヤ

2 材料と方法

輪ゴムの伸びが大きくなることを軟化劣化と定義した。輪ゴムの伸びを測定する際はスタンドに輪ゴムを吊るし、1 kgの重りを吊るして伸ばしその全長を物差しで測定した。

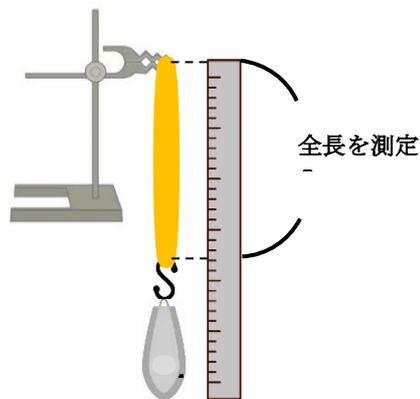


図2 実験方法

株式会社サンフレイムジャパン社のゴムバンドNo.16を使用し実験した。一度伸ばした輪ゴムは廃棄し、常に新品の状態の輪ゴムを使用した。

<実験1>

低温・常温・高温の条件下で輪ゴムの劣化の度合いを調べるため、3°Cの冷蔵庫、30°C、80°Cに設定したインキュベーターの中にそれぞれ輪ゴムを50本ずつ入れた。10日間、毎日5本ずつ取り出して全長を測定し、平均値を求めた。

<実験2>

30°Cに設定したインキュベーターの中に150本の輪ゴムを入れた。6週間の間、毎週30本ずつ取り出して全長を測定し、平均値を求めた。

<実験3>

80°Cに設定したインキュベーターの中に様々な操作を行った輪ゴムを入れ、1週間後取

り出して全長を測定し、平均値を求めた。輪ゴムに行った操作は以下の通りである。

- ・赤ペン、黒ペンで着色する（油性）
- ・亜鉛版、銅板で挟む
- ・水道水、赤ワイン、石鹼水、食酢に浸す
- ・ラップ、アルミホイル、セロハンテープで覆う

比較のために無操作の輪ゴムも同じインキュベーターの中に入れた。

赤ペン・黒ペンで着色する条件は色によって輪ゴムの劣化に与える影響が異なるか調べるために条件に取り入れた⁽²⁾。着色の際には輪ゴムの元の色が見えなくなるようにした。

金属板で挟む条件もインターネット⁽³⁾より「金属に触れさせておくと劣化が促進される」という記述をもとに条件に取り入れた。

石鹼水・食酢は身の回りのものでpHが大きいものと小さいものという理由で条件に加えた。石鹼水と食酢のpHはそれぞれ10.0と3.0であった。ワインは最近需要が高まっている消毒用アルコールの代替品として入れた。液体に浸す条件では、シャーレに各液体を入れ、輪ゴムの全体を浸した。

物体で覆う条件は、スマホの液晶を保護するときにフィルムを貼るときのように、覆えば劣化を防げるのではないかと⁽⁴⁾という考えで条件に加えた。



図3 80℃で各操作を施して放置した輪ゴムの様子



図4 80℃で各操作を施して放置した輪ゴムの様子

3 結果

<結果1-1>

3℃の冷蔵庫に放置した輪ゴムの全長の平均値は10日とも34～39cmの範囲内であり、時間がたっても変化は見られなかった

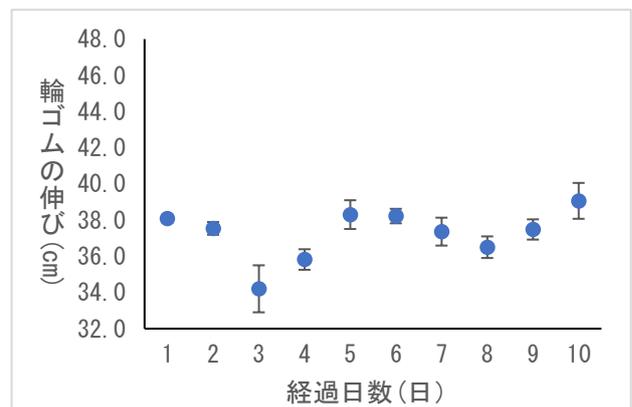


図5 実験1 3℃で放置した輪ゴムの全長の変化

<結果1-2>

30℃のインキュベーターに放置した輪ゴムの全長の平均値は10日とも37～39cmの範囲内であり、時間がたっても変化は見られなかった。

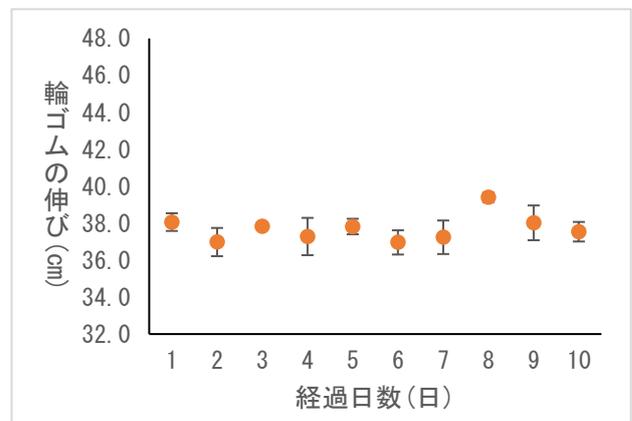


図6 実験1 30℃で放置した輪ゴムの全長の変化

<結果1-3>

80℃のインキュベーターに放置した輪ゴムの全長の平均値は35～45cmの範囲内であった。

時間が経過するにつれ、全長が長くなり、1日目では平均37cmであったが10日目では平均45cmと伸びが8cm長くなった。

また測定時、輪ゴムを伸ばす際に10本中5本が断裂した。

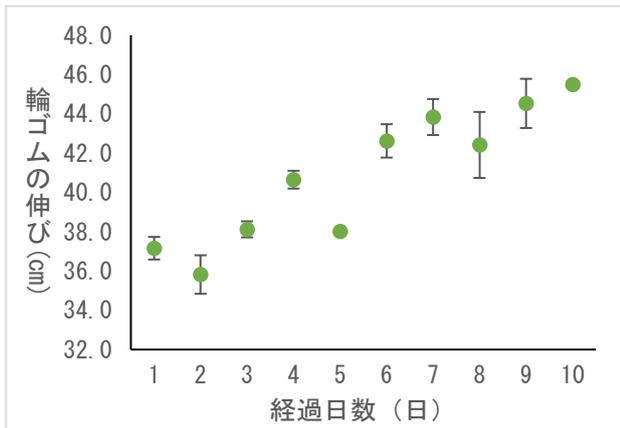


図7 実験1 80℃で放置した輪ゴムの全長の変化

<結果2>

30℃のインキュベーターに放置した輪ゴムの全長の平均値は1週目で35cmであったが6週目では36cmと6週間で1cm伸びが長くなった。

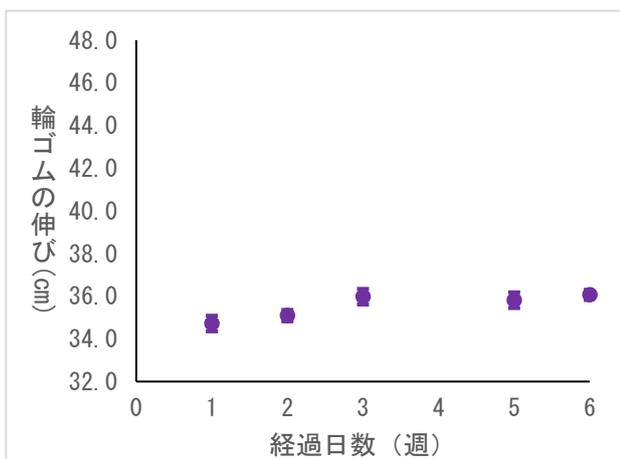


図8 実験2 30℃で6週間放置した輪ゴムの全長の変化

<結果3>

黒ペン、赤ペンで着色した場合、食酢、ワイン、水道水に浸した場合では何も操作をせずに入れた場合と比べ、輪ゴムの伸びが-2.3～-1.1cm変化した。

ラップ、テープ、アルミで覆った場合、亜鉛板、銅板で挟んだ場合では-0.70～+0.73cm変化した。

石鹼水に浸した場合では+1.16cm変化した。また、石鹼水に浸した場合でのみ輪ゴムの表面に白い粉が付着したり、数本が断裂したりした。

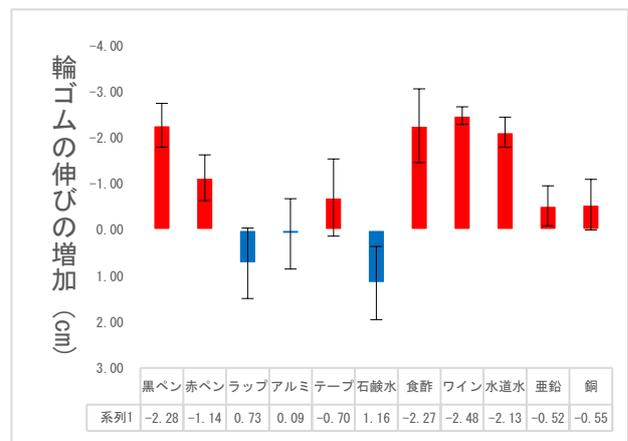


図9 実験3 輪ゴムに操作を加えたときの伸びの増加

表1 各条件の劣化の度合い

劣化を抑えられた

- ・赤ペン、黒ペン
- ・水道水
- ・ワイン
- ・食酢

劣化を抑えられなかった

- ・石鹼水
- ・セロハンテープ
- ・アルミホイル
- ・ラップ
- ・銅板
- ・亜鉛版



図10 石鹼水に入れた輪ゴム

4 考察

<考察1>

実験1で3℃、30℃で輪ゴムの時間経過による伸びの増加が観察できなかったのに対し、80℃で輪ゴムの時間経過による伸びの増加が観察できたのは、輪ゴム内の物質の開裂が高温によって促進されたためだと考えられる。

<考察2>

実験2で6週間での輪ゴムの時間経過による伸びの増加が、実験1の80℃での時と比べ小さかったのは温度が低く、輪ゴム内の物質の開裂の起きる数が少なかったためだと考えられる。

<考察3>

輪ゴムを覆う条件で劣化が抑えられなかったのに対して、着色する条件と液体に浸す条件で劣化を抑えられたのは空気と触れている部分が少なく酸化を防ぐことができた⁽⁵⁾ためだと考えられる。また亜鉛版と銅板による劣化の促進が見られなかったのは、金属による劣化が起こる前に取り出してしまったためだと考えられる。石鹼水に浸した条件で輪ゴムの伸びが大きかったのは、石鹼水の中の物質と輪ゴムの主な成分である天然ゴムとの相性が悪く、輪ゴムの弾性が失われたためであると考えられる。

5 今後の展望

着色や液体に浸すことによって酸化を防げていたのかについて調べるために、耐酸化性能を持つ輪ゴムと持たない輪ゴムで劣化の度合いを比較する実験を行う。

石鹼水がゴムの劣化を促進させた原因を調べるために、使用した石鹼に含まれていたそれぞれの成分を加えた時の輪ゴムの劣化の度合いを比較する実験を行う。

6 参考文献

(1)太智重光. 各種ゴムの劣化機構. 2018-8-21 (参照2023-2-6)

(2)Studium

<https://studium-univ.tokyo/science/black-hot/>(参照2023-2-10)

(3)野口優弥、東勇吾、松本均、宇都宮里佐[一般論文 ゴムの劣化事例および試験方法] 日新電機技報Vol. 64, No. 2 (2019.10)

(参照2022-10-18)

(4)スマホ画面に保護フィルムは必要? 保護フィルムのメリット・デメリット | パソコン修理・サポートのドクター・ホームネットがお届けするコラム (4900.co.jp)

(参照2023-03-16)

(5)酸化とは | 酸化防止剤の作用メカニズム | ジュンツウネット21 2021-11-5

<https://www.juntsu.co.jp/qa/qa1103.php>

(参照 2023-03-16)

モデル実験を用いた液状化現象の発生条件の解明

班員 上林 透也 塚 凜太郎 政氏 克善 山道 悠生
担当教諭 山本 一博

キーワード：液状化現象、振動エネルギー、BPM、Gal

We conducted experiments to elucidate the conditions under which liquefaction occurs. We found that the greater the energy imparted to the sand and water, the more likely liquefaction is to occur, regardless of whether the shaking is vertical or horizontal, and that when a certain size of space is created, the ground settlement becomes smaller and the amount of water that appears on the ground surface decreases.

1 はじめに

私たちは地震による被害を小さくするという観点から、地震によって引き起こされる液状化現象に着目した。

本研究では、液状化現象の発生条件を明らかにすることを目的として、振動によって砂および水がもつエネルギーの大きさや振動の方向と、液状化現象の起こりやすさの関係をモデル実験を用いて解明し、地震の被害の縮小に役立てようと考えた。

◎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動き出さずにいる。液状化現象では、浅い水位の地下水が地震等の振動によって粒子間に入り込む。そして、振動がおさまって隙間が小さくなるように粒子が沈下した結果、地盤が全体的に沈下して水が地盤の表面にあらわれる。

2 研究方法

本研究における地盤の沈下とは、水槽の底から測った砂の表面の高さが、実験前より実験後に小さくなったこととする。

◎実験1 砂および水に与えるエネルギーと液状化現象の関係

両側面に底を0 cmとして、縦1 mm間隔で目盛りを付けた水槽(横14 cm、奥行き26 cm、高さ

18 cm)に、砂4400 g、水800 gを入れて全体をよくスコップで混ぜた。砂および水を計量するときOHAUS製の電子ばかりを使用した。砂の表面の高さは容器の目盛りで水槽の底から8.0 cmに合わせた。これを木の板(横22 cm、奥行き105 cm、厚さ1 cm)にのせ、木の板の両端に500 gのおもりを一つずつ同時に繰り返し落とす(図1)。おもりを落とす高さを木の板から10 cm、30 cm、70 cmと変化させ、液状化現象が発生するまでのおもりを落とした回数を記録した。



図1：実験1の木板に水槽をのせ、両端におもりを落とした様子

〈実験1での液状化現象の発生の基準〉

水槽に砂を入れた後水を入れて混ぜた。そのとき砂に圧力をかけないように砂の表面を水平にならしたとき、砂の表面は水槽の底から8.0 cmの位置になった。予備実験として手動で木の板を振動させたところ液状化現象が発生し、砂の表面は水槽の底から6.5 cmの位置まで沈下した。さらに継続して水槽を揺らしても砂の表面が6.5 cmよりも沈下することがなかつ

た。そこで実験1では、砂の表面の高さが8.0 cmから6.5 cmに沈下したときに液状化現象が発生したと定義した(図2)。

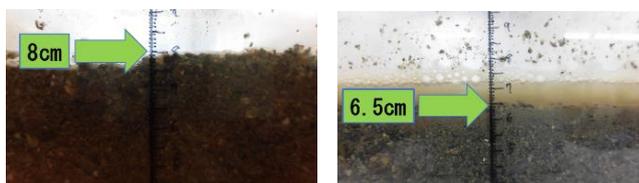


図2：実験1 実験前(左)と実験後(右)。このように8cmから6.5cmまで下がったとき、液状化現象が起こったとした

<BPM(Beat Par Minute)の定義>

振幅が設定した長さとなるような位置に二か所、印をつけた。印は木の板の動く方向の両端より外側に、バット(横19 cm、奥行き28 cm、高さ5 cm)の動く方向の上下より外側につけた。横揺れの場合は木の板の両端、縦揺れの場合はバットの底が印に1分間で触れた回数を揺れの回数とし、これをBPMと呼ぶ。タブレット端末内のメトロノームアプリ(Smart Metronome & Tuner - Tomohiro Ihara)でリズムをとり、それに合わせて水槽を揺らした。

<加速度>

地震の揺れの大きさを再現するために加速度をもとにしてBPMを決定した。加速度の単位はGalを用いた。1 Galは 1 cm/s^2 である。実験で用いた加速度(Gal)の値は各震度で目安とされている加速度(Gal)の範囲の中央値とし、設定した(表1)。加速度はアプリ(地震計-震動測定器-MYSTIC MOBILE APPS LLC)で測定した。

<実験2、3での液状化現象の起こりやすさを比較するときの基準>

振動させた際に砂の表面が何cm沈下したのかを比較した。沈下するほど液状化現象は起こりやすいと考えた。

◎実験2 振動方向と液状化現象の関係

実験1と同じ水槽に砂4400 g、水800 gを入れて、スコップで全体をよくかき混ぜた後に砂の

表面の高さを水槽の底から8.0 cmの位置に合わせた。そして振幅7.5 cm、震度4、5弱、5強相当の加速度で、縦方向と横方向それぞれに1分30秒間揺らした(図3)。横方向では水槽をおいた木の板の下に2つの筒(長さ46 cm、直径5 cm)を置き、木の板を手で押し引きし、縦揺れでは水槽を手で上下に上げ下げした。



図3：実験2(横方向の揺れ)の様子

表1：震度とGalの関係^[1]

震度と加速度とBPMの目安		
震度	加速度	BPM
4	20~60Gal	120
5弱	60~110Gal	180
5強	110~200Gal	245

◎実験3 振幅、振動数と液状化現象の関係

実験1と同様の水槽に砂4400 g、水800 gを入れて、全体をスコップでよくかき混ぜた後に砂の表面の高さを水槽の底から8.0 cmの位置に合わせた。振幅5.0, 8.0, 11.0, 14.0, 17.0 cmそれぞれに対してBPM48, 98, 147, 196, 245で、計25通りの組み合わせをつくり、横方向に1分30秒間揺らした。その後、砂の表面の高さが何cm沈下したかを記録した。

3 結果

◎実験1 砂および水に与えるエネルギーと液状化現象の関係

おもりを落とす高さが10 cmのとき、90回おもりを落としても3回の試行のすべてで液状化現象が起こらなかった。高さが30 cmのとき、1回目の試行で90回おもりを落としても液状化現象が起こらなかった。2回目の試行では29回、3回目では15回で液状化現象が起こった。高さが70 cmのときは、1回目の試行で20回、2回目で20回、3回目で19回で液状化現象が起こった。このようにおもりを落とす高さを高くするほど、液状化現象は少ない回数で起こった(図6)。

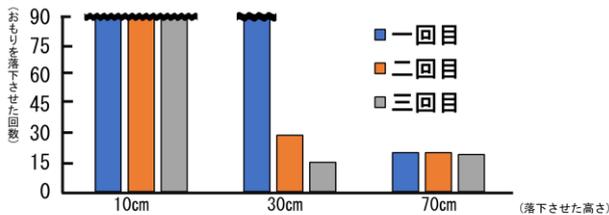


図6: 液状化現象がおこるまでのおもりを落とした回数

◎実験2 振動方向と液状化現象の関係

横揺れではBPM120・加速度40 Galのとき、1回目から3回目の試行で砂の表面の沈下は起こらず、BPM180・加速度85 Galのとき、平均0.7±0.35 cm、BPM245・加速度155 Galのとき平均0.9±0.17 cm沈下した。縦揺れではBPM120・加速度40 Galのとき平均0.2±0.17 cm、BPM180・加速度85 Galのとき平均0.7±0.67 cm、BPM245・加速度155Galのとき平均0.8±0.83 cm沈下した。このように縦揺れ、横揺れで砂の表面の沈下のしやすさに差はみられなかった(表2、3)。

表2: 横揺れと砂の表面の沈下の大きさ (cm)

	BPM		
	120	180	245
加速度 (Gal)	40	85	155
震度	4	5弱	5強
試行1	0	0.3	1.0
試行2	0	0.7	1.0
試行3	0	1.0	0.7
平均	0	0.7	0.9

表3: 縦揺れと砂の表面の沈下の大きさ (cm)

	BPM		
	120	180	245
加速度 (Gal)	40	85	155
震度	4	5弱	5強
試行1	0.5	0.5	1.0
試行2	0	0.7	0.8
試行3	0	0.8	0.7
平均	0.2	0.7	0.8

◎実験3 振幅、振動数と液状化現象の関係

表4に揺れの振幅とBPMを変化させたときに砂の表面が何cm沈下したかを表した。実験3の中でBPMが速すぎるために人力で行うことができない実験があった。そのため行っていない実験は表中で×マークで示している。図7のように砂に空間ができたときは★マークで表した。

砂と水槽の壁の間に隙間、または砂にひび割れができたことが目視で確認できたとき、砂に空間ができたとする。★の右に書かれている数字が大きいほど大きな空間が発生したとした(表4)。空間の大小は目視で判断した。★2以上の大きさの空間ができたとき、砂の表面に水が現れなかった。砂および水に与えるエネルギーを大きくするほど液状化現象は起こりやすくなったが、振幅14.0 cm BPM245以上では容器中の砂が偏り、砂と壁の間に大きな空間ができた(図7)。生じる空間が大きいほど砂の沈下は小さくなった。

また、振幅が同じとき、砂の沈下が大きいほど砂の表面に多くの水が確認できた。

表4: 振幅、振動数を変化させたときの地盤沈下の大きさ (cm)

	BPM				
	49	98	147	196	245
振幅5cm	0	0	0	0.5	0.7★1
振幅8cm	0	0	0	0.9	0.3★2
振幅11cm	0	0	0.5	0.7★1	0★3
振幅14cm	0.3	0.7	0.6	0.4★3	×
振幅17cm	0	0.5	0.7	×	×

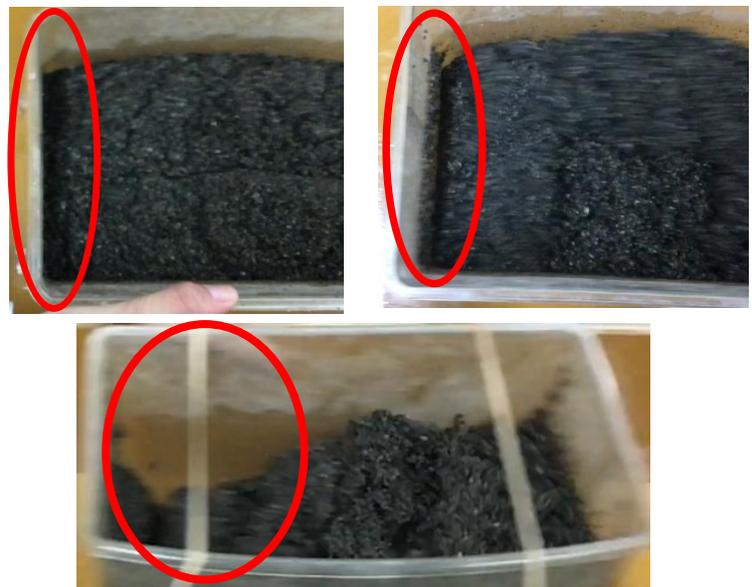


図7: ★1 相当の空間(振幅 11 cm、BPM196) ○で示した部分(左上)
★2 相当の空間(振幅 8 cm、BPM245) ○で示した部分(右上)
★3 相当の空間(振幅 14 cm、BPM196) ○で示した部分(下)

4 考察

◎実験1 砂および水に与えるエネルギーと液状化現象の関係

おもりを落とす高さが高く、おもりの位置エネルギーが大きいくほど、容器の砂および水に与えるエネルギーも大きくなり、液状化現象が発生しやすくなると考えられる。

◎実験2 振動方向と液状化現象の関係

同じBPMで比較した際、縦揺れ、横揺れで砂の沈下のしやすさに大きな差がないことから、縦揺れ、横揺れで液状化現象の起きやすさに大きな差はないと考えられる(表2、表3)。

◎実験3 振幅、振動数と液状化現象の関係

砂に空間が発生するほど加速度が大きい揺れでは、加速度が小さい揺れのように砂粒が小さく振動して砂粒のすきまが小さくなるように沈下するのではなく、砂粒全体と水が一体となって大きく動き、砂粒のすきまの大きさが変化しないと考えられる(図8)。よってこのとき、砂の表面の沈下が小さくなり、水が砂の表面に現れにくくなると考えられる。また、この実験では★2以上の大きさの空間が砂の塊に発生すると水が表面に現れなくなったが、実際の地震でも水が砂の表面に現れなくなるような空間の大きさが存在すると考えられる。

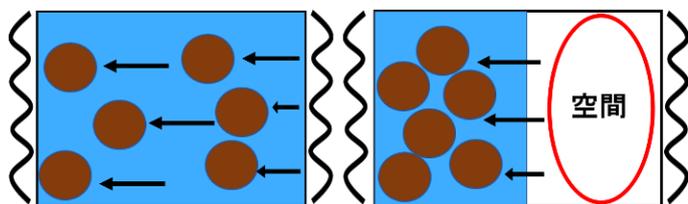


図8：通常の揺れ(左)と空間ができる振幅が大きい揺れ(右)

5 結論

縦揺れ、横揺れの違いは液状化現象の起こりやすさに大きく影響しない。また、★2以上の大きさの空間が発生しないとき、砂や水に与えるエネルギーが大きいくほど液状化現象は起こりやすい。そして、振幅が同じとき、砂の沈下が大きいくほど水は砂の表面に多くあらわれる。ただし★2以上の大きな空間が発生すると水が砂の表面にあらわれなくなる。

6 今後の展望

実験3では水槽の壁と砂の間に隙間が発生していたため、壁によって砂の動きが実際の地震の砂

の動きと違いが発生しているのではないかと考えた。このことから壁の存在は実験結果に影響を与えると考えた。今後は実験3と同様の実験を行い、その際の水槽の上層、中層、下層の砂の動きを細かく調べたい。

7 参考文献

(1)DAIME 株式会社ダイム技術サービス 加速度について

<http://www.daime.co.jp/gifujisin/data/skasokudo.html> (参照 2022-07-14)

(2)和田周 液状化(えきじょうか)とはなにかわかりやすくまとめた

<https://iqrafudosan.com/channel/liquefaction> (参照 2022-6-28)

(3)埼玉県庁 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> (参照 2022-6-28)

(4)高一 液状化現象の手動実験 YouTube

<https://youtu.be/c2CNK2Dm2QE> (参照 2022-07-03)

(5)緊急連絡網・安否確認システム「オクレンジャー」 液状化現象による被害と対策

<https://www.ocrenger.jp/archives/1847/> (参照 2022-07-03)

(6)OBAYASHI-Thinking | 大林組 特集-液状化現象のメカニズム

<https://www.obayashi.co.jp/thinking/detail/pickup012.html>(参照 2022-07-03)

(7)株式会社レフトハウジング | Left Housing 液状化とは?被害や対策はどのようにするべき?

<https://left-h.co.jp/blog/softground/what-is-liquefaction/>(参照 2022-08-20)