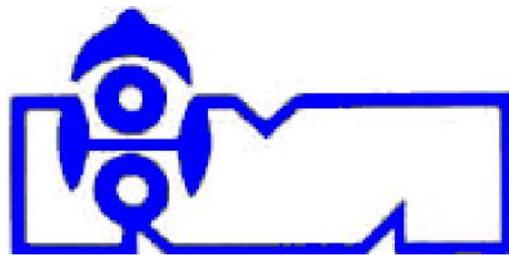


平成30年度指定

スーパーサイエンスハイスクール
研究論文集

第2年次



令和2年3月
群馬県立前橋女子高等学校

平成30年度指定

スーパーサイエンスハイスクール

研究論文集

第2年次

令和2年3月

群馬県立前橋女子高等学校

目 次

【全国発表ポスター】

教室内のCO ₂ 濃度の上昇を抑える方法～植物の光合成作用を活用して～	1
------------------------------------------------	---

【坊ちゃん科学賞提出論文】

音の色	2
-----	---

【科学的探究Ⅲ】

季節による色素の変化	7
教室内のCO ₂ 濃度の上昇を抑える方法～植物の光合成作用を活用して～	12
どっちが楽なの1段2段？	14
夏に涼しく過ごせる地面の条件	19

【SS探究】

音楽と言語の関係性～歌詞はめに着目して～	24
生まれたてのカイコの幼虫の光走性とその遺伝	24
固まらないレモン牛乳を作るには？	25
サドルの高さとペダルに加わる力の関係	25
自然由来の洗剤を作る～大豆の煮汁に着目して～	26
水筒内のお茶を安全に飲む方法	26
スマホのぼうしはブロッケン現象か	27
洗面所にある固形石鹼は清潔なのか	27
手を清潔にするには	28
肉をおいしく感じる方法～うま味 (umami) とテクスチャーを手がかりに～	28
ヘアピンがずれにくい？！～効率のよいピンの留め方～	29
リンゴ果実のエチレンによるバレイシヨの萌芽抑制	29
肩の負担を減らして重いリュックを背負うには？～肩紐に着目して～	30
自然由来の界面活性剤をつくる～米ぬかに含まれる成分に着目して～	30
自転車の前カゴに入れた弁当を崩さないように運ぶには	31
相互作用をもたらす野菜の組み合わせに関する研究～プランターでの野菜栽培に着目して～	31
男性の顔の黄金比と声の揺らぎに関する研究～前女生の心をつかむ値を突き止める～	32
茶殻をより短時間で堆肥化する方法に関する研究	32
中学生でも作れるキンギョの透明標本の作製方法	33

【科学的探究Ⅰ】

【情報】降水確率はどこまで正確か	34
【生活】洗濯物が早く乾く条件	37
【化学】保冷剤の保冷効果を調査する	41
【物理】重力加速度を実測する	46
【生物】種子の発芽率を高める条件	47
【物理】よく飛ぶ紙飛行機を作る	50
【人文】パスワードを忘れないようにするには	54
【社会】前橋市の活性化	59

【科学的探究Ⅱ】

【数学・物理】	62
【化学】	67
【生物】	71
【環境】	73
【食品科学】	75
【社会科学】	84
【人間科学】	85

【サイエンスキャンプ報告】

KEK サマー・サイエンスキャンプ参加報告	99
-----------------------	----

【マレーシア・シンガポール研修】

1 GLOBAL LINK SINGAPORE SESELI GIRLS' HIGH SCHOOL IN MALAYSIA	100
2 How to fly a paper plane far	101
3 Memorable and unpredictable password	101

【Graded Reading】

1 Earth Then and Now	102
2 Your Amazing Body	102
3 Our World in Art	103
4 Animals in Danger	103
5 Our World in Art	104
6 FUTURE SPACE	104
7 ALL ABOUT SPACE	105
8 WILLIAM AND KATE	105
9 World Wonders	106
10 Climate Change	106
11 All About Ocean Life	107
12 How to Say Healthy By Julie Penn	107
13 Caring for Our Planet	108
14 Global Issues	108

教室内のCO₂濃度の上昇を抑える方法 —植物の光合成作用を活用して—

群馬県立前橋女子高等学校



要旨

教室内のCO₂濃度の上昇を抑えるために、植物の光合成作用を活用する方法を考えた。はじめに、最も光合成能力の高い植物を決定するため、4種類の観葉植物を選定し、各々の光合成速度を計測した結果、パキラの光合成能力が最も高いことが分かった。しかし、教室内のCO₂濃度の上昇を抑えるためには、理論値ではパキラを1,500個体置かなければならず、実際に現実的な個数のパキラ(9個体)を教室に置いたところ、やはりCO₂濃度の上昇を抑えることはできなかった。

1. 研究の動機

教室内CO₂濃度は、**1,500ppm以下**が望ましい

BUT

本校の教室内のCO₂濃度は約**2,600ppm**まで上昇
(過去4年間11データ平均、保健室調べ)

教室に植物を置いて、光合成させる

教室内のCO₂濃度の上昇を抑えられる？

2. 基礎研究 I

目的 最も光合成能力の高い植物を決定する。

●方法 葉の単位面積当たりの光合成速度を計測

・実験対象植物を決める。

ガジュマル、ドラセナ、シェフレラ、パキラ(図1)

・葉を入れた密閉状態内のCO₂濃度変化を測定する。

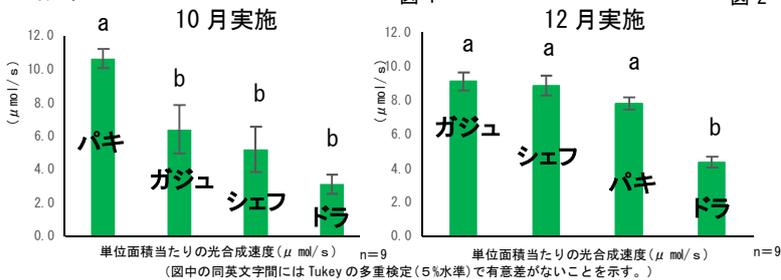
光量子量 $54 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$
温度 25°C の人工気象器内に1枚の葉を入れて、CO₂濃度測定器を付けたボトルを置いて測定する(図2)。



図1

図2

●結果



●考察 葉の単位面積当たりの光合成速度は**パキラが最も速い**。

疑問 葉齢ごとに光合成速度が異なるのではないかな？

3. 基礎研究 II

●仮説 葉齢ごとに光合成速度が異なる。

●方法

葉ができた順に『幼葉』『成熟葉』『老化葉』に三分割し、それぞれの光合成速度を求める(図3)。

●結果

	ガジュマル	パキラ	シェフレラ	ドラセナ
幼葉	8.8	7.7	8.0	3.5a
成熟葉	9.4	8.1	9.2	5.4b
老化葉	9.1	7.8	9.3	4.0a
有意差	n. s.	n. s.	n. s.	*



図3

図中の同英文字間には Tukey の多重検定 (5%水準) で有意差がないことを示す。

●考察

光合成速度に対する葉齢の影響が認められたのは、ドラセナのみであり、パキラを含めたそれ以外の種では、葉齢による差は認められなかった。

このことから、**ドラセナ以外の3種については葉齢の差は考慮しなくてもよい**ことが分かった。

4. 個体当たりの光合成速度を計算

●方法

$$\text{個体あたりの光合成速度 } (\mu\text{mol}/\text{s} \cdot \text{m}^2) = \text{単位面積当たりの光合成速度 } (\mu\text{mol}/\text{s} \cdot \text{m}^2) \times \text{個体の総葉面積 } (\text{m}^2)$$

●結果と考察

個体あたりの光合成速度 ($\mu\text{mol}/\text{s} \cdot \text{m}^2$)

順位	植物種	速度
1位	パキラ	4.1
2位	シェフレラ	2.7
3位	ガジュマル	0.5
4位	ドラセナ	0.1

個体あたりの光合成速度が最も速い植物は**パキラ**である。

5. 基礎研究 I、II の結論

教室に置く植物を選ぶ際には、パキラを選ぶと良いのか。

疑問 教室内のCO₂濃度上昇に非同化器官のCO₂放出が影響するのではないかな？



葉 } 光合成をしてCO₂を吸収する同化器官
幹 } 呼吸をしてCO₂を放出する非同化器官
根 }

6. 基礎研究 III

●仮説 非同化器官のCO₂放出作用は教室に植物を置いた時の教室内のCO₂濃度上昇に影響する。

●方法

以下に計算式を示す。

個体あたりの光合成速度

$$\text{葉の単位面積あたりの光合成速度 } (\mu\text{mol}/\text{s} \cdot \text{m}^2) \times \text{個体の総葉面積 } (\text{m}^2)$$

個体あたりの呼吸速度

$$\text{非同化器官の単位乾燥重量あたりの呼吸速度 } (\mu\text{mol}/\text{s} \cdot \text{g}) \times \text{個体の非同化器官の乾燥重量 } (\text{g})$$

●結果と考察

個体あたりの呼吸速度を引いた
個体あたりの光合成速度 ($\mu\text{mol}/\text{s}$)

順位	植物種	速度
1位	パキラ	4.0
2位	シェフレラ	2.6
3位	ガジュマル	0.4
4位	ドラセナ	0.1

光合成速度に順位変化無し
1位 パキラ

非同化器官のCO₂放出作用は、教室に植物を置いた時の教室内のCO₂濃度上昇に影響しない。



7. 基礎研究の結論

個体あたりの光合成速度は、**パキラ**が最も速い。

教室のCO₂濃度を上昇させないために必要なパキラの個数 **約 1,500 個** (高さ約 70cm、幅約 50cm)

計算方法

$$\frac{\text{教室内のヒトの呼吸による CO}_2 \text{ 濃度上昇量}}{\text{時間}} = \frac{\text{パキラ 1 個体の CO}_2 \text{ 吸収能力} \times \text{パキラの個数}}{\text{時間}}$$

8. 実践研究

●目的
実際に、教室後方の棚に置ける限りの個体数のパキラを置いて、どの程度教室内の CO₂ 濃度の上昇を抑えることができるか確かめる。

●実験方法

<条件>

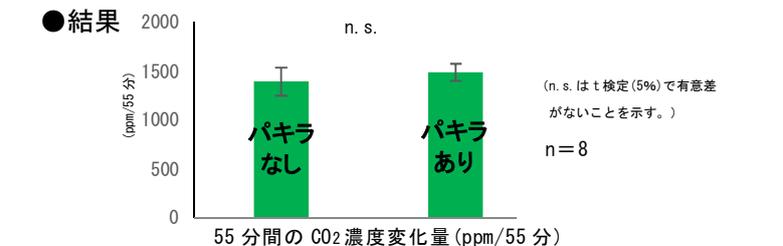
- 使用教室：2年6組
- 人数：40人
- 置いた植物：パキラ9個 (総葉面積約 6.2 m²)
- 教室の状態：密閉状態
- CO₂濃度計測器設置場所：教室後方の棚上に固定

<方法>

時間	55分間(1単位時間)
計測	1秒ごと
対象	CO ₂ 濃度
比較	植物ありなし
結果	終了時—開始時



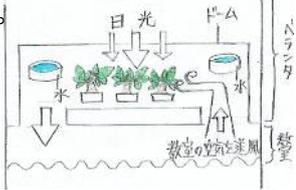
教室にパキラを置いた様子



●考察
パキラを教室後方の棚に、置ける限り置いても、**授業 55 分間における教室内の二酸化炭素濃度の上昇を抑えることはできない**ことが分かった。それは、教室内部での光量子量の不足や、CO₂が気孔に入る際の気孔抵抗の影響が考えられる。

9. 今後の課題

教室に植物を置いたときの、光量子量不足や気孔抵抗の影響を改善するために、下図のような方法を考えた。この方法の利点として、①ベランダの光量子量は、教室内部の12倍である。②水を置くことで、ドーム内の湿度が上昇して気孔が開き、気孔抵抗が低減する。③教室内部の空気を送風することで、CO₂の境界層抵抗が低減する。今後、この方法を実践し、CO₂濃度上昇を抑えられるかを検証する。

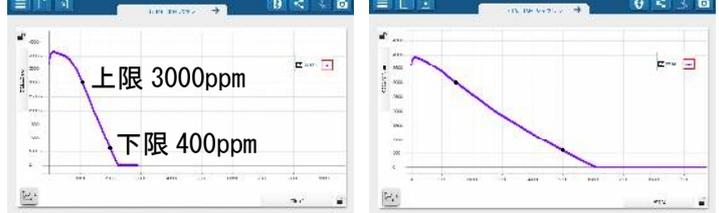


参考文献

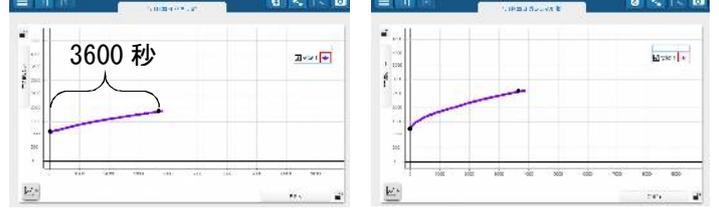
- 「植物の光合成機能の評価」 大阪府立大学大学院 渋谷俊夫教授著
- 植物生理学・発生学(原著第6版) テイツ/ザイガー

【計測データの例】

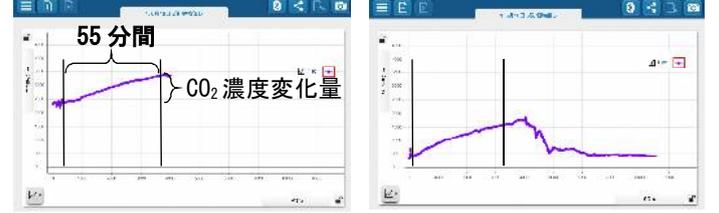
●基礎研究Ⅰ
1枚の葉が入ったボトルの中のCO₂濃度の変化 n=9



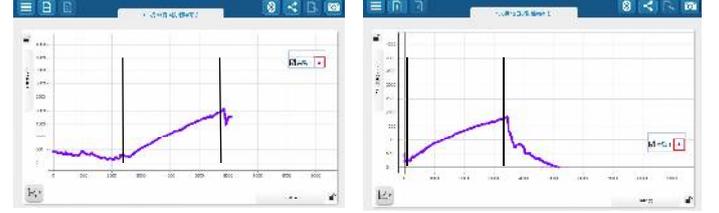
●基礎研究Ⅲ
植物の非同化器官を入れたボトル内のCO₂濃度の変化 n=9



●実践研究
植物無しの場合の教室内のCO₂濃度の変化 n=8



植物有りの場合の教室内のCO₂濃度の変化 n=8



光量子量 (μmol/m ² · S) 一覧			
人工気象器内	教室内		ベランダ (曇り)
	廊下側	窓側	
54	12	20	200

基礎研究の実験補足

●乾燥重量の測り方
80℃の乾燥機に、24時間入れて、乾燥させる。



●総葉面積の測り方
葉面積を1枚ずつ求めるのではなく、次のような比から求める。

総葉面積：三枚分の葉面積 = すべての葉の乾燥重量 / 三枚分の乾燥重量



1. 研究動機

色聴とは音を聞いて色を感じる共感覚の1つであり、共感覚を持つ人は約2000人に1人と言われている。私たちは色聴を持っている人を色聴保持者、持っていない人を非色聴保持者とよび、非色聴保持者に関する実験をすることにした。

音と色の関係について、色聴保持者の音に対して見える色の研究は多いが、非色聴保持者の音に対する色のイメージに関する研究は少ない。しかし、私たちの多くは非色聴保持者である。私達が持つ、別の感覚である視覚と聴覚の関係について調べることは他分野に応用できる。そこで私たちは基礎研究として非色聴保持者が音に対してイメージする色について、音と色を数値にして関係性を調べるとともにその関係性が生じる理由について考察するためにこの実験を行った。

2. 先行研究について

2-1. 先行研究のあらまし

「音と色のノンバーバルマッピング—色聴保持者のマッピング抽出とその応用—」¹において長田典子氏等は色聴保持者が感じる色と色の対応関係を調べ、同じ手法を用いて非色聴保持者が音に対して色を感じるかどうかの研究を行った。結果的に、この実験方法では、非色聴保持者は音に対して色を感じないということが分かった。私たちはこの実験がすでに非色聴保持者にも行われているということに着目した。そして、非色聴保持者に色聴保持者用の実験手法をそのまま適用するのではなく、改良して行うことで非色聴保持者の音に対して連想する色を調べられると考え、私たちの研究を進めることにした。まずは、長田氏らの実験手法を紹介する。

2-2. 先行研究における色聴保持者への実験手法

・音について

調、音色、音高という3つのパラメーターを使用している。

調：G3～F4から始まるハ～ロ長調、ハ～ロ短調、乱数をもとに発生させた30個の音列

音色：音調波を含まない純音やピアノなど8種類

音高：音高D1, D3, D5から始まる二長調の上昇スケール

・色について

全部で166色を使用している。色相とトーンの組み合わせで決まっている。

色相：24色からなる色相環のうち1つとびに12色

トーン：横軸に彩度、縦軸に明度をとった座標軸上に配置される15のカテゴリーのうち無彩色の3つを除いた12カテゴリー、それに無彩色系でよく使われる4系列を加えたもの

・実験の手順

1. カラーチャートを見せ、被験者に色の配置を記憶するよう要請する。

2. カラーチャートを隠し、音刺激を提示する。
3. 音刺激によって喚起された色を頭の中でイメージするよう求める。できるだけ直観的なものとなるように、10秒間の制限時間を設ける。
4. カラーチャートを再提示し、イメージした色に近い色を問う。これについても同じ理由から、10秒の制限時間以内とする。

3. 本研究の実験環境

実験に入る前に本実験の実験環境を説明する。

3-1. 使用した実験器具

- ・音刺激の提示：iphone7, HUAWEI nova lite2 (FIG-LA1) 上のアプリケーション「onsA440」
- ・カラーチャートの印刷機：Canon Satera MF8380Cdw
 インク：Canon cartridge 418 シアン/マゼンタ/ブラック/イエロー
 紙：上質紙

3-2. 実験した場所, 時間

前橋女子高校 2-6, 3-5, 3-6, 3-7 の教室 (2019 年度時点), 生物室で主に昼休みや放課後に行った。

4. 実験

4-1. 実験 1 (先行研究をもとにした実験)

4-1-1. 実験方法

・音について

実験回数を少なくし、音を振動数として扱えるようにした。

調：ハ長調に固定

音色：スマートフォンのアプリケーションである「onsA440」を使用 (設定した振動数の音が出せる。)

音高：ハ長調のスケール

このようにして定めた音をランダムに聴かせた。また、国際的な基準周波数である 440Hz の音をすべての実験で使う。

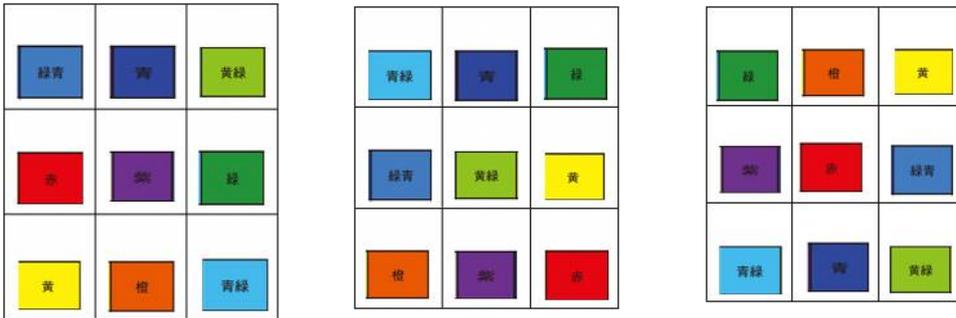
・色について

色は波長として扱えるようにした。そのため、トーンは考えず、色彩のみを扱った。使用したのは 380nm から 780nm の波長の色のうち 9 つで、画像として図 1 を使用した。この 9 つの色をバラバラにし、ランダムに組み替えて図 2 のようにして被験者にはランダムに配った。

図 1 使用した色の画像

紫	青	緑青	青緑	緑	黄緑	黄	橙	赤
380	430	480	490	500	560	580	595	650

図2 ランダムに並べたカラーチャート（実験ではこれらをバラバラに被験者に配った）



・被験者について

非色聴保持者である前橋女子高校 1~3 年 22 人

・実験の手順

先行研究の手法を非色聴保持者用に改良するにあたり、必要だと考えたのは色を連想できる時間の確保と音から色を連想する手がかりである。ただし、手がかりについてはむやみに用意すると私たちが被験者をおある一定の結果に導いてしまいかねないため、実験に使用するカラーチャートを隠さずに見せておくのみにした。

1. カラーチャートを見せたまま、音刺激を提示した。
2. 音刺激から連想される色をカラーチャートから選んでもらった。色を連想する時間を確保するため、被験者が色を書き始めてから音刺激を提示するのをやめた。

4-1-2. 結果と考察

結果から非色聴保持者は相対的に振動数の少ない音には波長の短い色を、振動数の多い音には波長の長い色を選ぶと考えられる。

表1は音の振動数と連想された色の波長の平均、その波長の色を表している。対応する色は平均波長の色が一般に呼ばれている名前を示した。また、非色聴保持者が音を区別して色を選んでいるかを Tukey の多重比較検定を用いて調べた。表1の同じ英文字間には Tukey (5%) で有意差が認められなかったことを示す。この結果から音の振動数がある程度離れていないと音を区別して色を選べていないことがわかる。

次に音の振動数と連想された色の波長について相関関係が見られるかどうか回帰分析を使って調べた。高い信頼度 (5% 有意) で r (相関係数) = 0.82 であった。したがって音の振動数と連想された色の波長について正の相関があることが分かった。

しかしこの実験では被験者になじみのあるハ長調を使ったため、実験1がこの結果を導いた可能性がある。

表1 音に対してイメージされる色

	平均波長(nm)	対応する色	
ド	482	緑青	ab
レ	446	青	a
ミ	482	緑青	ab
ファ	525	緑	bc
ソ	531	緑	bc
ラ	545	緑	c
シ	538	緑	bc

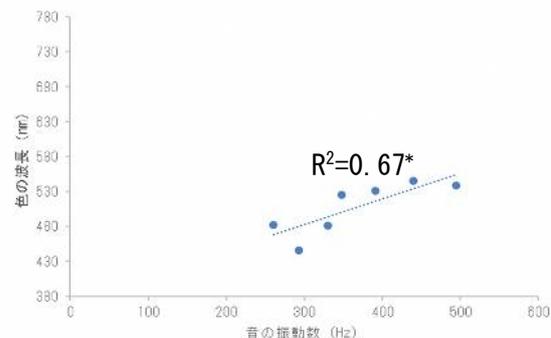


図3 音の振動数と連想された色の波長の相関関係

そこで実験 2, 調査 1 を行って, 実験 1 の結果が導かれたものではないことを確かめる。

4-2. 実験 2 (音階とは関係のない色を使用した実験)

実験 1 の結果は音階の代わりに音階とは関係のない振動数の音を聞かせても得られるのかを調べるために行った。

4-2-1. 方法

・音について

340Hz, 360Hz, 380Hz, 400Hz, 420Hz, 440Hz, 460Hz, 480Hz, 500Hz, 520Hz の 10 音を使用した。

音色については実験 1 と同様の音色を使用した。

・色について

実験 1 と同様の色を用いた。

・被験者について

非色聴保持者である前橋女子高校 1~3 年 31 人

・実験手順

実験 1 と同様の手順でおこなった。

4-2-2. 結果と考察

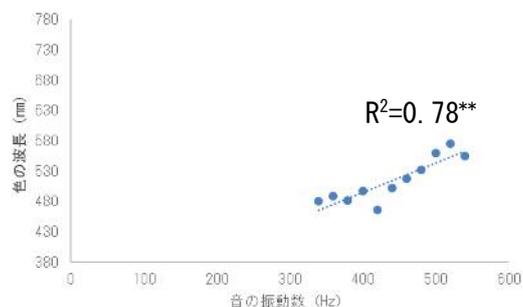
結果から, 音階とは関係のない音を使用しても非色聴保持者は相対的に振動数の少ない色には波長の短い色を, 振動数の多い音には波長の長い色を選ぶと考えられる。

表 2 は音の振動数と連想された色の波長の平均, その波長に対応する色を表している。また, 非色聴保持者が音を区別して色を選んでいるかを Tukey の多重比較検定を用いて調べた。表 2 の同じ英文字間には Tukey (5%) で有意差が認められなかったことを示す。この結果から音の振動数がある程度離れていないと音を区別して色を選べていないことがわかる。

次に音の振動数と連想された色の波長について相関関係が見られるかどうか回帰分析を使って調べた。高い信頼度 (1%有意) で r (相関係数) = 0.88 であった。したがって音の振動数と連想された色の波長について正の相関があることが分かった。

表 2 音に対してイメージされる色

音の振動数(Hz)	色の波長(nm)	対応する色	
340	480	緑青	ab
360	489	緑青	ab
380	481	緑青	ab
400	498	青緑	ab
420	465	青	a
440	502	緑	ab
460	517	緑	abc
480	532	緑	bcd
500	560	黄緑	cd
520	575	黄緑	d
540	554	緑	cd



4-3. 調査（音名に対して連想する色の調査）

図4 音の振動数と連想された色の波長の相関関係

ハ長調の音をドレミ・・・という音名は知らせずに聞いてドレミ・・・という音名がわかる場合、音ではなくて音名に沿って色を選んでいる可能性がある。そこで、ドレミという音名から連想する色を調査することでその可能性を調査することにした。

4-3-1. 調査方法

・音名と色について

ドレミファソラシの音名をランダムに書いたアンケート用紙を4パターン用意し、色は実験1と比較するために実験1, 2で使用した3パターンのカラーチャートを使用した。

・被験者について

非色聴保持者である前橋女子高校1~3年 19人

・調査手順

ドレミファソラシをランダムに書いたアンケート用紙を見て、それぞれの音名から連想される色をカラーチャートから選んでもらった。

4-3-2. 調査結果と考察

表3は音名から連想した色の波長の平均と実験1の音から連想した色の波長の平均、これらの間に有意な差が認められるかを調べた結果を示している。ファ以外は音名から連想する色と音から連想する色に有意な差が認められた。したがって、ドレミの音を聞いて音名を思い浮かべ、その音名から色を連想している可能性は低いと考えられる。

表3 音から連想した色と音名から連想した色

	音から連想した色の波長(nm)	音名から連想した色の波長(nm)	有意差
ド	482	585	**
レ	446	565	**
ミ	482	567	**
ファ	525	525	n.s.
ソ	531	474	**
ラ	545	450	**
シ	538	456	**

**は1%水準で有意差があることを、n. s. は有意差がないことを示す。

4-4. 結論

実験1, 2, 調査の結果より非色聴保持者は相対的に振動数の少ない色には波長の短い色を、振動数の多い音には波長の長い色を選ぶといえる。

5. 非色聴保持者が実験のように色を連想する理由の調査（調査2）

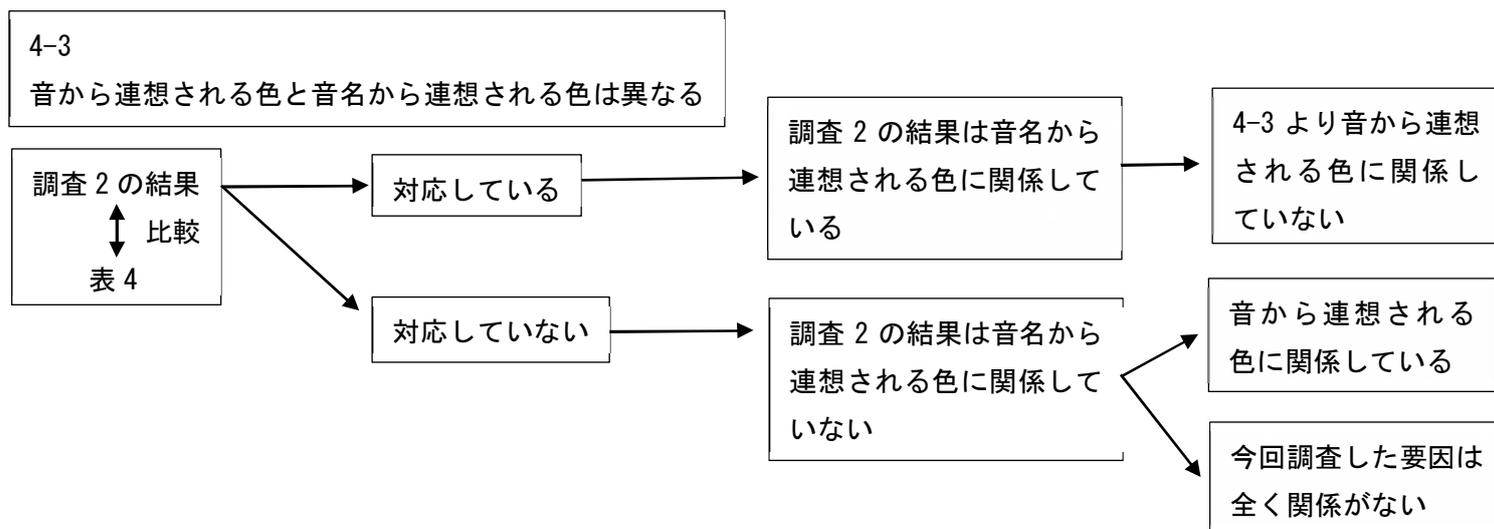
実験の結論のように非色聴保持者が音から色を連想する理由について考察するため、調

査を行った。何らかの経験をもとに音から色を連想していると考えられるが被験者全員の今までの経験をすべて調べるわけにはいかない。そこで、今回は幼児期に注目して調査をすることにした。1つ目は幼稚園や保育園で鍵盤ハーモニカを指導する際に使われた色シールの調査、2つ目は楽器玩具の鍵盤の色の調査である。2つとも色の波長を調べるのが困難であるため調査には色の名前を使用した。これにより色の扱いが波長から色の名前になってしまうため単純に実験結果と調査結果を比較することができない。したがって図5のように比較していく。図5における表4とは前橋女子高校の生徒20人に音名から連想される色を自由に記述してもらった結果である。色の隣の数字は選んだ人数の割合を百分率で表したものである。

表4 前橋女子高校の生徒が音名に対して連想した色(1~5位までを示す)

	ド	レ	ミ	ファ	ソ	ラ	シ
1位	赤 85	黄 70	緑 35	黄緑 30	水色 40	青 35	紫 25
2位	茶 5	オレンジ 10	オレンジ 35	緑 15	青 40	オレンジ 20	白 25
3位	黒 5	レモン 5	黄 15	オレンジ 10	緑 10	紫 20	虹 10
4位	緑 5	きいろ 5	みかん 5	ピンク 10	空 5	金 15	水色 10
5位		赤 5	青 5	青 5	こん 5	茶 5	茶 5

図5 実験と調査2の比較の仕方



5-1. 幼稚園、保育園、認定こども園における音と色の対応付けに関する調査

調査2を行うにあたって幼稚園の先生に話を伺ったところ、幼稚園、保育園、認定こども園などでは鍵盤ハーモニカを使う際に鍵盤に色のシールを貼って指導することがあるという話を聞いた。そこで25人の保育士、幼稚園教諭に調査に協力してもらった。

5-1-1. 調査方法

ドレミファソラシの音名を書いたアンケート用紙に鍵盤ハーモニカを指導する際にどの鍵盤にどの色シールを貼っているかを書いてもらった。幼稚園や保育園、こども園ごとの方針で色が決まっている場合もあるため、4か所の園の先生に協力してもらった。

5-1-2. 調査結果と考察

調査結果から幼稚園や保育園，こども園での音楽教育は音から色の連想よりも音名から色の連想に関係していると考えられる。

表5は音名ごとに保育士，幼稚園教諭が書いた色のランキングである。色の隣の数字は選んだ人数の割合を百分率で表したものである。表5と表4を比較すると上位に選ばれている色に対応していることがわかる。したがって，鍵盤ハーモニカに貼る色シールは音から連想する色には関係がないと考えられる。

表5 鍵盤ハーモニカに貼る色

	ド		レ		ミ		ファ		ソ		ラ		シ	
1位	赤	100	黄	96	緑	92	橙	88	青	96	紫	88	ピンク	68
2位			オレンジ	4	水色	4	はだいろ	4	黄緑	4	緑	4	白	28
3位					黄	4	紫	4			橙	4	紫	4
4位							緑				藍	4		

5-2. 幼児が使う楽器玩具の鍵盤などの色に関する調査

次にピアノや木琴の玩具の鍵盤とその色の関係について調べた。また，配色の理由について4社に問い合わせを行った。

5-2-1. 調査方法

Googleの検索サービスで楽器玩具と調べて出てきた商品のうち，日本の会社で，問い合わせに返信があった4社13商品の鍵盤と色の関係を調べる。また，その配色にした理由を調査する。このとき，鍵盤の色はカラーチャートに使用した9つの色のうち一番近い色その色の名前とした。ただし，ピンクだけはカラーチャートにのっていないが使うことにする。また，音は鍵盤が右にあるほど振動数が多い。木琴などの玩具の場合は玩具に記載された音名に従った。

5-2-2. 調査結果と考察

調査結果から玩具の鍵盤の色は音と色の関係よりは音名と色の関係に関わっていると考えられる。

表6は鍵盤ごとの配色のランキングである。色の隣の数字は選んだ人数の割合を百分率で表したものである。表6と表4を比較すると上位に選ばれている色に対応していることがわかる。したがって，鍵盤ハーモニカに貼る色シールは音から連想する色には関係がないと考えられる。また，配色の理由としては「一番目立つドを赤色にすること以外は特に意識していない」や「キャラクター玩具であり，そのキャラクターのイメージに合わせた配色にしている」というのが多く，ドレミの音を意識して配色しているものは少なかった。しかし，楽器玩具も製造している楽器メーカーによると「40年以上前に色分けを始めたので正確な理由はわからないが，音名と色を対応付けることが幼児教育によいのではないかという考えからはじめた。」ということであった。

表 6 玩具の鍵盤の色

	ド	レ	ミ	ファ	ソ	ラ	シ
1位	赤 89	橙 56	黄緑 44	橙 33	青 44	青 44	紫 33
2位	ピンク 11	黄 33	黄 33	黄 22	青緑 33	青緑 33	白 22
3位		ピンク 11	橙 11	黄緑 22	緑 11	紫 11	ピンク 11
4位			緑	緑 22	黄緑 11	緑 11	青 11

5-3. 結論

実験からわかるように音に対して連想する色と音名に対して連想する色は異なっている。音名に対して連想される色は5-1, 5-2の調査から幼児期の経験の影響が大きいと考えられるが、音に対して連想される色は今回調査した要因とは関係ないと考えられる。

6. 振動数の多い音（高音）と振動数の少ない音（低音）についての調査

調査 2 で実験のような色の選び方をする理由を突き止められなかったため、被験者に直接アンケートを行う。同じ音名でも音の高さが異なる音を使用して、高音と低音から連想される色の波長について調査した。（調査①）また、音に対して連想した色について、なぜその色を選んだのか被験者にその理由を書いてもらった。（調査②）

6-1. 調査方法

・音について

調査①②共通 低音として 220Hz, 高音として 880Hz を使用した。

・色について

調査① 実験と同じカラーチャート

調査② これまでとは別の白色光の連続スペクトルを使用した。画像として図 5 を使用した。左端から等間隔に 1, 2, 3, 4, 5 という番号を振った。

・被験者について

調査① 非色聴保持者である前橋女子高校 1~3 年 22 人

調査② 非色聴保持者である前橋女子高校 1~3 年 12 人

・調査手順

調査① 実験 1 と同様の手順で行った。

調査② 1. カラーチャートを見せたまま、音刺激を提示した。
 2. 音を連想される色によって 5 段階評価してもらった。色を連想する時間を確保するため、被験者が色を書き始めてから音刺激を提示するのをやめた。音を聞かせる順番については高音を先に聞く人と低音を先に聞く人を半分ずつにした。また、前に聞いた音に影響されないように高音、低音を聞かせる前に 440Hz の音を聞かせるようにした。
 3. 実験後に音からその色を連想した理由を書いてもらった。

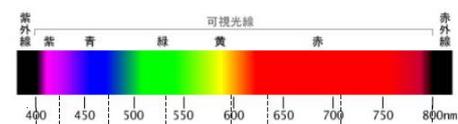


図 6 使用したスペクトル

6-2. 調査結果と考察

・調査①

結果から同じ音名の音であっても振動数が多いと波長の長い色を、振動数が少ないと波長の短い色を選ぶことがわかる。よって、調査②ではこの色の選び方をする理由を問うことになる。

次の表 8 は音の振動数と連想された色の波長の平均、その波長に対応する色を表している。この2つのデータの間の有意差があるか対応のある t 検定 (5%) を用いて調べたところ有意差が認められた。

表 8 同じ音の高い音と低い音で連想する色

使用した音(Hz)	平均波長(nm)	対応する色
880	567	黄緑
220	439	青

・調査②

音の高さと色の明るさのイメージは被験者達に刷り込まれていて理由が結局聞き出せなかった。しかし、理由として音の高さと色の明るさのイメージ以外を答えた数人のアンケート結果から実生活に基づいた経験とメディアの影響が示唆された。次の表 9 はアンケートで音の高さと色の明るさのイメージを答えた人数とそれ以外のことを答えた人のアンケート結果である。

表 9 アンケートの結果

	アンケートの答え	人数
刷り込まれたイメージ?	高い音には明るい色を、低い音には暗い色を連想する	4
	高い音は暖色で低い音は寒色を連想する	2
	音に高さや聞いた感じの雰囲気に影響された	1
実生活に基づく?	ヒーターが低い音だから	1
	ソの音を基準に高いか低いかな	1
	高くて細い音は女子みたいで明るめな色のイメージ 低めで太い音は男子みたいで濃い色のイメージ	1
メディア?	映画の効果音	1
	高い→天使感→最も白っぽい黄色	1
	低い音だったので闇の奥底から響いてくるイメージができた	1

6-3. 結論

音に対して連想される色は調査から実生活に基づく経験やメディアの影響が示唆された。

7. 結論

非色聴保持者は相対的に振動数の多い音には波長の長い色を、振動数の少ない音には波長の短い色を連想する。理由として今までの経験とメディアの影響があると考えられる。

8. 今後の展望

今回の実験では 1 音を聞かせて色を連想してもらうという 1 回の実験を何回も続けてお

こなったため、相対的な音の評価になった。次は、1人に1回の実験のみを行うことで絶対的な音の評価を取り入れた実験を行ってみたい。また、現在、6の調査から得られた結果を深めるために私達が幼児であったときに見ていたアニメに絞って音と色の関係を調べることを計画している。

9. 引用・参考文献

・引用文献

図1 KEYENCE (株) 『FAの画像処理を基礎から学べるサイト 画像処理.com』

<http://www.keyence.co.jp/>

閲覧日 2019年 7月20日

図6 京都エネルギー・環境研究協会-エネカン 『「音感と色感」アヴェ・マリアの色符』

http://www.enekan.jp/archives/2011/04/post_43.html

閲覧日 2019年 8月18日

1. 岩井大輔 長田典子 津田学 和気早苗 井口征士 (2002)

『音と色のノンバーバルマッピング—色聴保持者のマッピング抽出とその応用—』

<https://ci.nii.ac.jp/naid/110003311584>

・参考文献

福田邦夫 2001年 『色の名前事典』 主婦の友社

日本色彩研究所編 2005年 『色の百科事典』 丸善株式会社

大山正 2000年 『視覚心理学への招待—見えの世界へのアプローチ』 サイエンス社

野村順一 2015年 『色の秘密』 文芸春秋

趙彦 濱里 茜 2015年 『音と色の関係性による色聴情報の視覚化について

—カール・ジーツの色聴情報の中心に』

adada.info/2015japan/proceedings/b1-2.pdf

10. 謝辞

実験には群馬県立前橋女子高校の皆さんに協力していただきました。

季節による植物の色素の変化

群馬県立前橋女子高等学校 3年 浅見百香

要旨

私は、異常気象が多発する現代に、葉に含まれる色素の変化に着目して、正確な紅葉前線を得たいと思い、研究を開始した。その手がかりを見つけるために、今回は気象条件の中でも特に、日照時間に着目して研究を行った。

研究方法は薄層クロマトグラフィー法を用いて、ヤマモミジとイチョウに含まれる色素の同定を行い、1年間の葉に含まれる色素の変化を調べた。そして、日照時間と関係性があるとされる、糖度との関係性を調べた。

結果として、アントシアニンは糖度が高くなると生産されると言う報告がある一方、クロロフィルは分解されることが分かった。また、カロテノイドは糖度が上昇する時期に、生産される色素と分解される色素があることが分かった。このことから、クロロフィルと一部のカロテノイドの分解には、糖度の上昇や9月以降の日照時間の延長が関係しており、上記以外の一部のカロテノイドはアントシアニンと同様、糖度が上昇する時期に生産されるという考察に至った。

はじめに

日本では紅葉が起こるなど、四季によって葉の色が次々と変化する。また、日本には四季を慈しむ風習があり、紅葉に着目してみると、気象庁が毎年秋に紅葉前線を発表しており、国民が紅葉を楽しむ時期を知るための1つの目安となっている。紅葉前線とは、モミジやイチョウなどが同じ時期に紅葉（黄葉）する場所を線状に結んだもので、紅葉の時期はその年の気象条件によって微妙に変化する。しかし近年、世界的に地球温暖化が進んでおり、異常気象が多発している。そして、紅葉前線は気象条件と深く関わっているため、異常気象が多発すると、正確な紅葉前線が得られなくなってくるのではないかと私は考えた。ところが、各植物にどのような色素が含まれているのかを調べる研究は多く行われている一方で、葉に含まれる色素が季節によってどのように変化するのか、また何が要因で変化するのかはあまり研究されていないことが分かった。そこで、植物の葉の色の変化と葉に含まれる色素は関係しているのではないかと考え、色素の変化と気象条件との関係性を見つけ、将来的には葉に含まれる色素に着目して、正確な紅葉前線を得たいと思い、研究を開始した。今回は、気象条件の中の日照時間のみに着目して、仮説の検証を行なった。

目的

薄層クロマトグラフィー法 (TLC) を用いて、ヤマモミジとイチョウの色素を抽出して、色素の同定を行う。そして、同じ個体の葉を1年間調べることで、葉の色の変化と葉に含まれる色素の関係性を調べる。その後、日照時間と関係性があると言われる、糖度との関係性を見つける。

特に今回は、色素の生産や分解について、研究のあまり進んでいないクロロフィルとカロテノイドについて調べる。既に研究の進んでいるアントシアニンは、細胞内の糖度が高くなると生産されていることが知られているので、クロロフィルとカロテノイドについての今回の実験結果との比較を行なう。

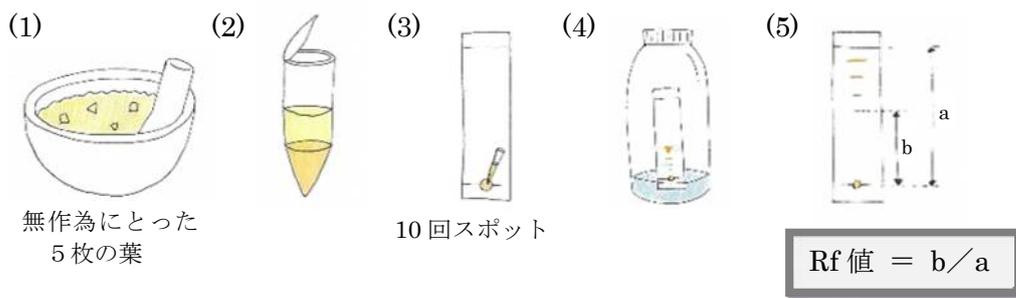
また、気象条件と研究結果を照らし合わせることで、異常気象が多発する今日において、色素の変化に着目し、正確な紅葉前線が得られるような手がかりを探す。

アントシアニンについて¹

アントシアニンは、赤、オレンジ、青といった花や食品の色素として知られた物質で、アントシアニジンと呼ばれる基本骨格にグルコースなどの糖やシナピン酸などのアシル基が修飾 (配糖化、アシル化) されることで、初めて植物体内に安定して蓄積される。このことから、アントシアニンは糖によりその合成が誘導されるといえる。

方法

薄層クロマトグラフィー法 (TLC) を用いて実験を行った。この際、展開溶媒は、石油エーテル、アセトン(3:2 v/v)とし、抽出溶媒は、ジエチルエーテル(1.2 mL)とした。なお、実験回数は9回とした。^{2, 3}



糖度は、無作為にとった3枚の葉を乳鉢ですりつぶしたものを、糖度計を用いて3回測定した。なお、今回使用した糖度計はショ糖のみを認識する。



実験1 上記の方法で、黄葉したヤマモミジとイチョウの落ち葉に含まれる色素を抽出し、それぞれどのような色素が含まれているのか、Rf値を元に同定を行った。

(研究期日 2017年12月)

実験2 上記の方法で、1年間、ヤマモミジとイチョウに含まれる色素を同定した。その後各色素がそれぞれ抽出された時期を表にしてまとめた。また、両種の葉の糖度も調べ、日照時間との関係性をまとめた。

(研究期間 2018年4月～12月)

仮説

仮説1. 秋(10月～)の葉にはクロロフィルは含まれない。

(ここで10月～としてあるのは、秋分の日が9月下旬であるため)

秋になると、クロロフィルは日光によって、タンパク質と糖に分解される。そのため、紅葉が始まる10月からの葉では、クロロフィルは完全に分解され、葉に含まれないと考えた。このことについて、薄層クロマトグラフィーによる観察で検証した。

仮説2. 葉の糖度と葉の色の変化は関係している。

アントシアニンの生産は、葉の糖度と関係しているという報告から、クロロフィルやカロテノイドも、生産や分解が葉の糖度と関係していると考えた。そして、クロロフィルやカロテノイドの生産や分解に伴って、葉の色が変化していると考えた。このことについて、葉の糖度の変化を調べて検証した。

結果・考察

実験1. ヤマモミジとイチョウに含まれる色素の抽出

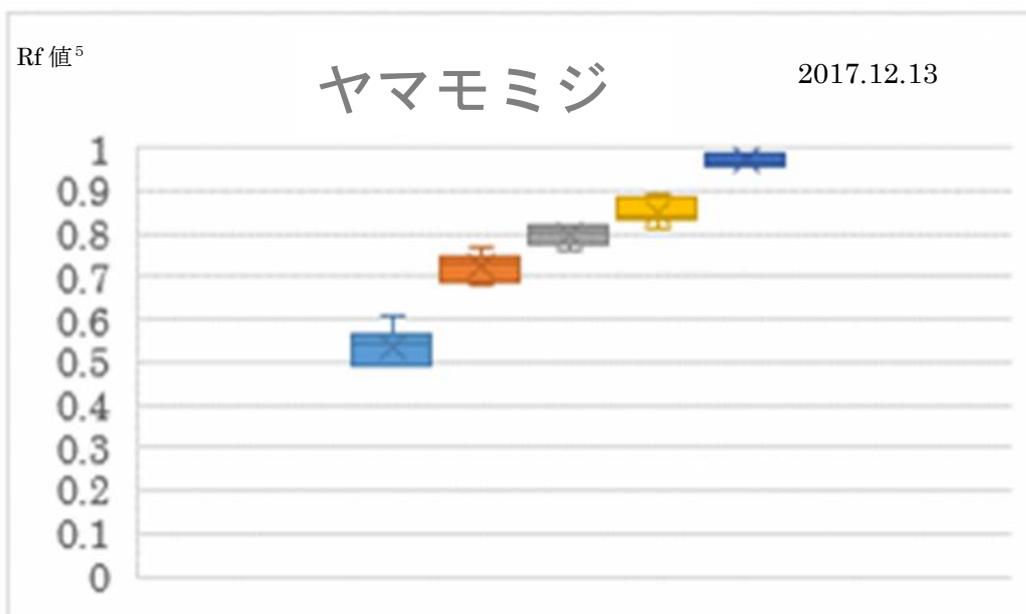
被子植物には通常、クロロフィルa、クロロフィルb、ルテイン、B-カロテンなどの色素が含まれることが知られている。しかし、今回の実験において、イチョウ、ヤマモミジのどちらの葉にもクロロフィルb、ルテインは含まれなかった。(図1) このことから、クロロフィルbに着目すると、日照時間の減少による葉の老化反応の過程で、クロロフィルbは分解されたのではないかと考えられる。

このことより、日照時間と葉に含まれる色素の分解との関係性を実験2において、葉に含まれる色素の生産・分解と葉の糖度との関係性と並行して調べることにした。

※葉の老化について⁴

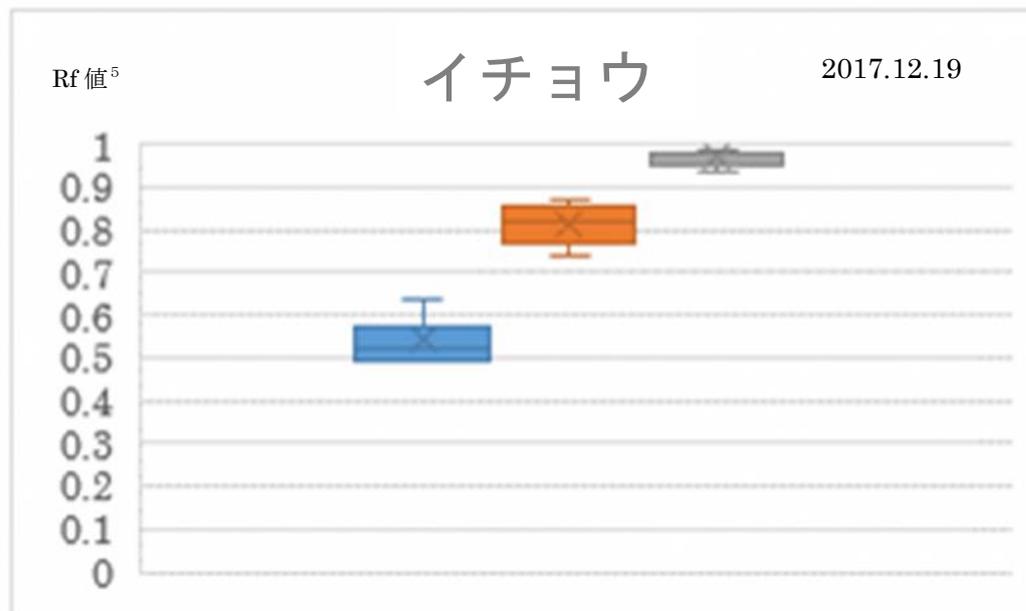
葉は光合成により、二酸化炭素を固定し、植物の物質生産を支える大切な器官である。葉の光合成能力は葉の展開完了後、次第に低下する。この現象は葉の老化ととらえることができる。葉が老化していく過程では、葉の窒素量、RuBP carboxylase/oxygenase (RubisCO) のような光合成に関わるタンパク質量、クロロフィルなどの色素量が減少する。一方、分解系に関わるタンパク質量が増加し、ストレス防御に関わるカロテノイドのような色素量、遺伝子発現量、タンパク質量が相対的に増加する。個体内では、様々な器官の間での光や栄養をめぐる競争に負けた、下位にある古い葉が老化すると考えられる。古い葉で分解されたタンパク質は、物質の受容器官である成長中の葉や子実などにアミノ酸の形で転流され、再利用される。

実験1において、ヤマモミジとイチョウのどちらの葉においても、クロロフィルbとルテインが抽出されなかったのは、実験1では黄葉した後に落葉して、乾燥した落ち葉を利用して実験を行なったため、葉が乾燥していたことと何か関係があるのではないかと考えた。



クロロフィル a, クリプトサンチン, カンテキサンチン, Y, B-カロテン

※Yはカロテノイドの一種であると考えられる



クロロフィル a, カンテキサンチン, B-カロテン

図1 ヤマモミジ、イチョウに含まれるそれぞれの色素(n=9)

実験 2. ヤマモミジとイチョウに含まれる色素と葉の糖度、日照時間との比較

表 1 より、イチョウにおいて、12 月上旬からクロロフィル b が抽出されなくなった。また、11 月上旬から、ヤマモミジ、イチョウのどちらの葉においても、抽出されるクロロフィル a、b の色が薄くなったことが目視で確認された。このことから、11 月上旬から、クロロフィルの分解が進んでいることが明らかに分かった。しかし、クロロフィル b が全て分解されてなくなったわけではなく、変化が見られたのは、11 月上旬からであることから、仮説 1 (秋 “10 月～” の葉にはクロロフィル b は含まれない) は正しくないと言える。

また、表 1・図 3 より、ヤマモミジとイチョウのどちらの葉においても、カロテノイドの 1 種であるクリプトサンチンが生産される時期と、葉の糖度が上昇する時期が一致することが分かった。したがって、葉の糖度が上昇する時期に、生産される色素や、分解される色素があることが分かった。また、ヤマモミジが紅葉する時期とイチョウが黄葉する時期は、カロテノイドの生産や分解及び、クロロフィルの分解の時期と一致していることが分かった。これらのことから、仮説 2 (葉の糖度と葉の色の変化は関係している) は正しいと言える。

今回、ヤマモミジやイチョウに含まれる、クロロフィル b とカロテノイドの生産や分解が糖度の変化と関係していることが分かった。しかし、色素の生産や分解によって糖度が高くなるのか、それとも、糖度が高くなることによって色素の生産や分解が誘導されるのかという因果関係は分からなかった。そのため今後は、葉に含まれる色素の定量化を行いつつ、調べていく必要がある。

表1 ヤマモミジとイチョウのそれぞれに含まれる色素の変化⁵

(実施年 2018 年)

○ → 抽出された × → 抽出されなかった

モミジ		4月18日	5月2日	5月30日	7月4日	7月18日	8月30日	9月13日	10月10日	10月24日	10月31日	11月21日	11月28日	12月5日	12月12日
葉の見た目の変化	Rf値														
糖度		1.8	1.6	1.4	1.1	0.8	1.3	0.6	0.6	0.7	0.7	2.9	2.5	4.4	5.4
①ネオキササチン	0.1~0.2	○	○	○	○	○	×	○	×	×	○	○	○	×	×
②ピオラキササチン	0.2~0.3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×
③ルテイン	0.3~0.4	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
④クロロフィルb	0.4~0.5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
⑤Y1		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○
⑥クロロフィルa	0.5~0.6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
⑦クリプトキササチン	0.7~0.8	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○
⑧フェオフィチン(b)	0.6~0.8	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×
⑨フェオフィチン(a)	0.6~0.8	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	×	×	×	×
⑩カンテキキササチン	0.8~0.9	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○
⑪Y2		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○
⑫Y3		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○
⑬Y4		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○
⑭B-カロテン	0.9~1.0	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

※Y1~Y4はカロテノイドの一種であると考えられる

イチョウ		4月25日	5月9日	6月12日	7月17日	8月3日	9月6日	9月19日	10月17日	10月26日	11月7日	11月14日	11月21日	11月28日	12月5日	12月12日
葉の見た目の変化	Rf値															
糖度		1.2	1.5	2.2	1.5	1	1.4	1.8	1.8	1.7	0.4	3.3	3.3	4	5.4	5.2
①ネオキササチン	0.1~0.2	○	○	○	○	○	×	×	×	×	○	○	○	×	×	×
②ピオラキササチン	0.2~0.3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	×
③ルテイン	0.3~0.4	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
④クロロフィルb	0.4~0.5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
⑤クロロフィルa	0.5~0.6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×
⑥クリプトキササチン	0.7~0.8	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○
⑦フェオフィチン(b)	0.6~0.8	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×
⑧フェオフィチン(a)	0.6~0.8	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×
⑨B-カロテン	0.9~1.0	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

□ → カロテノイドが分解された時期 □ → カロテノイドが生産された時期

□ → クロロフィルが分解された時期

なお、表 1 中のフェオフィチン (a, b) とは、クロロフィルの Mg が 2 個の H に置き換わった色素で、その多くは作業中に生じる。そのため、ここでは考慮しないものとする。⁶

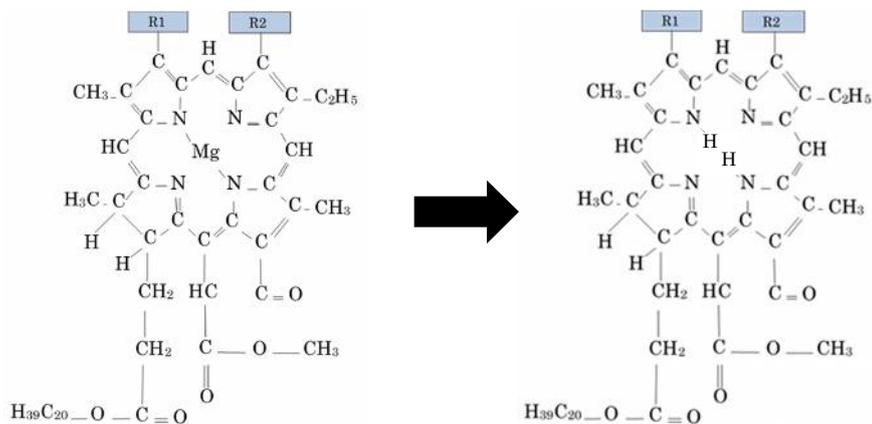
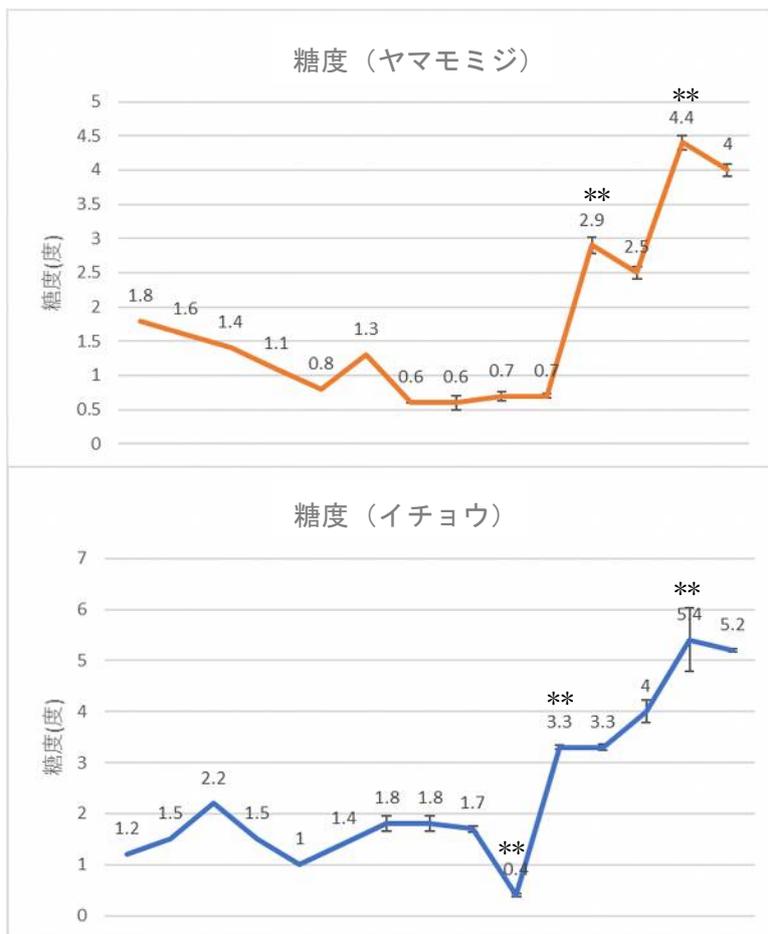


図 2 クロロフィルとフェオフィチンの構造式



**は前月と比べて、T 検定により 1%水準で有意差があったことを示す。

※糖度の値および標準誤差については 9 月 13 日以前は 1 個体の値で、それ以降は 3 個体の値である

図 3 ヤマモミジ、イチヨウの糖度

図4は気象庁のホームページの過去の気象データをもとに、4月1日～12月12日の日ごとの日照時間および、4月～12月の月平均の日照時間を示したグラフである。⁷

図4より、月平均の日照時間においては9月に最小値をとった後延長しており、それに伴った糖度の上昇が見られたため、糖度と日照時間との間には関係性があることが確認された。しかし、実験1の考察「クロロフィルbは日照時間の減少による葉の老化反応の過程で分解された」ということに対し、矛盾が生じるため、実験1を再検証する必要がある。

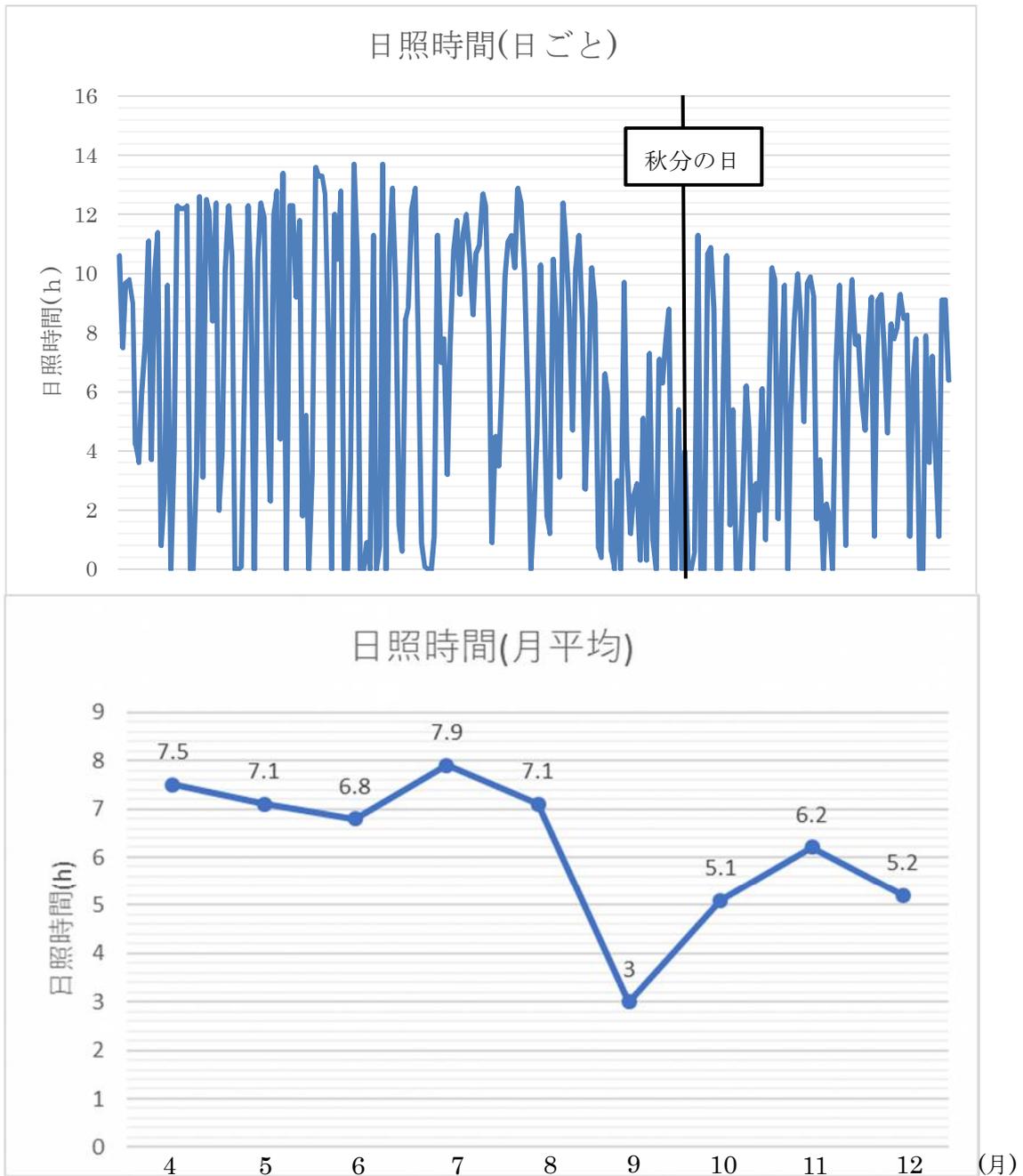


図4 日ごとの日照時間と月平均

結論

アントシアニンは糖度が高くなると生産されるという報告がある一方で、クロロフィルは糖度が高くなる時期に、分解されるということが分かった。また、カロテノイドについては、糖度の上昇する時期に、生産される色素と分解される色素があることが分かった。

よって、クロロフィルと一部のカロテノイドの分解は、糖度の上昇や、9月以降の日照時間の延長と関係していること、その他のカロテノイドは、アントシアニンと同様、糖度の上昇する時期に生産されること、これら2つのことが分かった。

今後の展望

- ・今回は、色素と日照時間、糖度との関係性を調べたが、将来的には、降水量や紫外線などの日照時間以外の気象条件と色素との関係性を調べたい。そして、異常気象の多発する現在の環境で、より正確な紅葉前線を得られるようにしたい。
- ・今回の実験では、葉に含まれている色素の定量化が行なえていないため、定量化することで、色素の変化の詳細な情報を得る。そして、葉に含まれる色素の生産や分解と糖度の変化の因果関係を調べる。このことにより、既に研究の進んでいるクロロフィルの生産や分解との類似点をより詳しく調べる。
- ・再度実験1を行い、なぜ黄葉後の落ち葉にはクロロフィルbが含まれなかったのか、「クロロフィルが含まれなかったのは、乾燥した落ち葉を利用して実験を行った彼である。」という仮説をもとに再検証する。
- ・個体差が生じるため、他の個体も調べ、データの偏りがなくなるようにする。また、日光の当たり方や個体が生息する条件によっても差が生じると考えられるため、生息する条件による比較も行っていきたい。

参考文献

1 植物色素アントシアニンの蓄積に関わる配糖化酵素遺伝子を発見

http://www.riken.jp/pr/press/2011/20111012_2/

2 薄層クロマトグラフィー

<https://apec.aichi-c.ed.jp/kyouka/rika/koutou/seibutsu/busshitsu/chromate/chromato.htm>

3 薄層クロマトグラフィーによる植物色素の分離

<http://m.happycampus.co.jp/doc/12847/>

4 葉の老化に影響を与える環境要因と葉の老化の制御機構

https://www.jstage.jst.go.jp/article/seitai/63/1/63_KJ00008637266/pdf

5 Rf 値出典 林孝三編「植物色素」養賢堂 1980

6 スクエア最新図説生物 neo

7 気象庁 過去の気象データ検索 - 気象庁ホームページ

<http://www.date.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.html>

謝辞

研究を進めるにあたり、御指導・御助言をいただいた、お茶の水女子大学 理学部 生物学科教授 作田正明先生に深く感謝申し上げます。

教室内の CO₂ 濃度の上昇を抑える方法 ～植物の光合成作用を活用して～

群馬県立前橋女子高等学校 理科部 3年 小淵七波

1. 概要

教室内の CO₂ 濃度の上昇を抑えるために、植物の光合成作用を活用する方法を考えた。はじめに、最も光合成能力の高い植物を決定するため、4 種類の観葉植物を選定し、各々の光合成速度を計測した結果、パキラの光合成能力が最も高いことが分かった。しかし、教室内の CO₂ 濃度の上昇を抑えるためには、理論値ではパキラを 150,000 個体置かなければならず、実際に現実的な個数のパキラ (9 個体) を教室に置いたところ、やはり CO₂ 濃度の上昇を抑えることはできなかった。

2. 研究の背景・目的

眠気や集中力の低下の原因のひとつが、空気中の CO₂ 濃度の上昇であると言われている。⁽¹⁾同時に、以下に述べるような本校の教室内環境の問題点を知り、改善の余地があると感じた。

文部科学省では、学校環境衛生管理マニュアルにおいて、教室の CO₂ 濃度の基準値を、1500ppm 以下と定めている。⁽²⁾本校では毎年、教室内環境調査が行われており、55 分間の授業において、授業開始時と授業終了時の 2 回にわたり、教室内の CO₂ 濃度を計測している。その結果、教室内の CO₂ 濃度は、授業開始時は基準値未満であったが、授業が終わるころには、約 2500ppm まで上昇しており、文部科学省が定める基準値を大幅に越えていることが分かった。

この教室内の CO₂ 濃度上昇の原因は次のように考えられる。特に冷暖房機器を使用する夏季と冬季において、教室内の室温を保つために、換気頻度が極めて少なくなり、教室が密閉状態になりやすい。この状況下で、約 40 人の生徒の呼吸作用によって、CO₂ が大量に放出されることが原因であると考えられる。このように 40 人の生徒の呼吸で基準値を簡単に超える。

そこで、ドアや窓が完全に閉まった教室の CO₂ 濃度の上昇を抑えるために、植物が光合成をして、CO₂ を吸収するメカニズムを利用する方法を考えた。

このような方法が教室の CO₂ 濃度上昇を抑えるために、有効な手段であるかを確認することを目的とし、研究を行った。

3. 基礎研究 I

教室内の CO₂ 濃度の上昇を効率的に抑えるために、光合成能力が高い植物を選定する。基礎研究 I では、葉の単位面積当たりの光合成速度を明らかにする。

(1) 実験方法

① 実験対象植物の選定

あらゆる植物の光合成能力を比較していくことは、植物を入手する点や研究期間を考えたところ、不可能である。また、トウモロコシやサトウキビなどの C₄ 植物は、光合成能力が極めて高いが、このような植物を教室内に置き、育てることは、光子量不足であるため現実的ではない。⁽³⁾

そこで、研究の実現性を考え、一般的なホームセンターで販売されていて価格も手ごろな植物である、ガジュマル、ドラセナ、シェフレラ、パキラの 4 種類の植物を選び、実験に用いた (図 1)。



図 1 実験に使用した植物

左からガジュマル、ドラセナ、シェフレラ、パキラ

② 単位面積当たりの光合成速度の測定⁽¹⁾

人工気象器 (光子量 $54 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 、温度 25°C) の中に、光合成速度測定用のワイヤレス CO₂ 濃度測定器を組み合わせた、測定器専用の容器 (ボトル) を入れる (図 2)。このとき、ボトル内は密閉状態である。ボトル内には、予め選定した 4 種の植物のうち 1 種の葉と高吸水性ポリマーを入れ、葉が吸水できるようにする。光合成速度測定用のワイヤレス CO₂ 濃度測定器によって、ボトル内の CO₂ 濃度が測定され、1 秒ごとの測定値が、専用のソフトに記録される。密閉されたボトル内には、葉が 1 枚入っており、ボトル内の CO₂ は、徐々に葉に吸収されていき、その濃度は低下し



図 2 人工気象器にボトルを入れた様子

ていく。

次に、光合成計算式⁽⁴⁾に2点(自然状態に近い400ppmと教室内環境に近い3000ppm)の計測値を代入して光合成速度を計算する(図3)。実験回数は、4種の植物の葉をそれぞれ9回ずつ測定した。

$$\text{葉の単位面積当たりの光合成速度} (\mu\text{mol/s} \cdot \text{m}^2) = V \cdot \frac{C_1 - C_2}{t_2 - t_1} \cdot \frac{1}{A}$$

C_1, C_2 : 時刻 t_1, t_2 のボトル内の CO_2 密度 ($\mu\text{mol}/\text{m}^3$)
 t_1, t_2 ($t_1 < t_2$): 時刻 (s)
 V : ボトル内の空気容積 (m^3)
 A : 植物の葉面積 (m^2)

図3 葉の単位面積あたりの光合成速度の計算式

(2) 実験結果

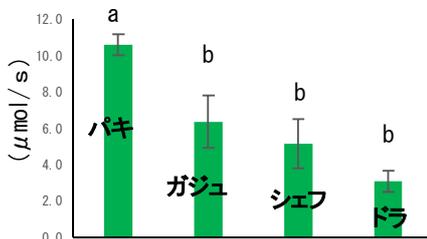


図4 単位面積当たりの光合成速度 ($\mu\text{mol/s}$) $n=9$

図中の同英文字間には Tukey の多重検定 (5%水準)

で有意差がないことを示す。

(3) 考察

葉の単位面積当たりの光合成速度は、パキラが最も速い(図4)。しかし、仮に葉齢ごとに光合成速度が異なると考えた場合、基礎研究Ⅰの実験に使用した葉は、任意の場所を選んだため、この結果は正しいといえない。

4. 基礎研究Ⅱ

基礎研究Ⅰの課題となった、光合成速度に対する葉齢が影響するかということについて調べる。

(1) 実験方法

葉ができた順に『幼葉』『成熟葉』『老化葉』に三分割し、それぞれの光合成速度を求める。光合成速度の算出方法は基礎研究Ⅰと同様である。実験回数は、4種の植物の葉を、葉齢ごとにそれぞれ3回ずつ測定した。

(2) 実験結果

表1 葉齢ごとの光合成速度 ($\mu\text{mol/s} \cdot \text{m}^2$)

	ガジュマル	シェフレラ	パキラ	ドラセナ
幼葉	8.8	8.0	7.7	3.5a
成熟葉	9.4	9.2	8.1	5.4b
老化葉	9.1	9.3	7.8	4.0a
有意差	n. s.	n. s.	n. s.	*

図中の同英文字間には Tukey の多重検定 (5%水準) で有意差がないことを示す。

(3) 考察

光合成速度に葉齢の影響が認められたのは、ドラセナのみであり、パキラを含めたそれ以外の種では、葉齢による差は認められなかった(表1)。

このことから、ドラセナ以外の3種については葉齢の差は考慮しなくてもよいことが分かった。

5. 基礎研究Ⅲ

教室に置くのは、植物まるごと1個体であるから、基礎研究Ⅱで求めた葉の単位面積当たりの光合成速度をもとにして、植物1個体あたりの光合成速度を比較する。

(1) 実験方法

植物1個体あたりの光合成速度の計算

$$\text{個体あたりの光合成速度} (\mu\text{mol/s}) = \text{葉の単位面積当たりの光合成速度} (\mu\text{mol/s} \cdot \text{m}^2) \times \text{個体の総葉面積} (\text{m}^2)$$

(2) 結果

表2 植物1個体あたりの光合成速度 ($\mu\text{mol/s}$)

順位	植物種	速度 ($\mu\text{mol/s}$)
1位	パキラ	4.1
2位	シェフレラ	2.7
3位	ガジュマル	0.5
4位	ドラセナ	0.1

(3) 考察

個体あたりの光合成速度はパキラが最も速い(表2)。しかし、非同化器官の呼吸による影響を考慮していないため、この影響を排除した上で、結論を出す必要がある。

6. 基礎研究Ⅳ

植物の非同化器官の呼吸による影響を確かめ、植物体総体で、 CO_2 吸収能力が最も高い植物を選定する。

(1) 実験方法

① 非同化器官の呼吸速度の測定

光合成速度測定のとおり同様である。

② 計算方法

基礎研究Ⅲで求めた同化器官の光合成速度から非同化器官の呼吸速度を差し引いた値を求める。

$$\text{葉の単位面積当たりの光合成速度} (\mu\text{mol/s} \cdot \text{m}^2) \times \text{個体の総葉面積} (\text{m}^2)$$

$$- \text{非同化器官の単位乾燥重量あたりの呼吸速度} (\mu\text{mol/s} \cdot \text{g}) \times \text{個体の非同化器官の乾燥重量} (\text{g})$$

(2) 結果

表3 同化器官の光合成速度から非同化器官の呼吸速度を差し引いた値

順位	植物種	速度 ($\mu\text{mol/s}$)
1位	パキラ	4.0
2位	シェフレラ	2.6
3位	ガジュマル	0.4
4位	ドラセナ	0.1

非同化器官の呼吸速度は、各種とも光合成速度に比べてきわめて小さく、CO₂ 吸収能力の順位変動はなかった(表3)。

(3) 考察

植物体総体での CO₂ 吸収能力を考えることにおいて、非同化器官の呼吸速度は無視できるため、もっとも CO₂ 吸収能力が高い種はパキラと結論づけられる。

7. 研究 I ~IVの結果をもとにした理論値の計算

授業 1 時間の間に、教室内の CO₂ 濃度を上昇させないために必要な、パキラの個体数の理論値を計算する。

①考え方

教室内のヒトの呼吸による CO₂ 濃度上昇量/時間
 $=$ パキラ 1 個体の CO₂ 吸収能力/時間 \times パキラの個数

②パキラ 1 個体の 1 時間あたりの CO₂ 吸収能力の計算
 ボトルの体積 : $2.5 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ 教室の体積 : $2.0 \times 10^2 \text{ m}^3$

教室の体積はボトルの $2.0 \times 10^2 / 2.5 \times 10^{-5} = 8.0 \times 10^6$ 倍

	葉の面積 (m^2)	CO ₂ 吸収能力 (ppm/h) ボトル	CO ₂ 吸収能力 (ppm/h) 教室
ボトル内の葉	4.5×10^{-3}	8.3×10^2	
パキラ 1 個体	5.2×10^{-1}	$8.3 \times 10^2 \times 5.2 \times 10^{-1} / 4.5 \times 10^{-3}$ $\approx 9.6 \times 10^4$	$9.6 \times 10^4 / 8.0 \times 10^6$ $= 0.012$

③教室における、1時間あたりのヒトの呼吸による CO₂ 濃度上昇量の測定

<植物を置かないときの状況>

- ・使用した教室 : 2 年 6 組
- ・人数 : 計 40 人(生徒 39 人と教師 1 人)
- ・教室の窓やドアは完全に閉まった状態
- ・CO₂ 濃度計測器は教室後方の棚上に固定する(図 6)

[方法]

教室内の環境を以下のように定め、授業 1 時間の、

教室内の CO₂ 濃度を CO₂ 濃度計測器で 1 秒ごとに計測した。授業開始時と終了時の濃度差を教室内の CO₂ 濃度変化量とした。

[結果]

ヒトの呼吸による CO₂ 濃度上昇量/時間
 $\approx 1.8 \times 10^3 \text{ ppm/h}$

④教室内に置く必要のあるパキラの個数の理論値

1 時間の間に教室の CO₂ 濃度を上昇させないために必要なパキラの個体数は、 $1.8 \times 10^3 / 0.012 = 1.5 \times 10^5$ 個となった。

8. 実践研究

実際に現実的な個体数のパキラを置いて、どの程度教室内の CO₂ 濃度の上昇を抑えることができるかを確かめる。

(1) 実験方法

教室内の環境条件を次のように定め、授業中の 55 分間に、教室内の CO₂ 濃度を CO₂ 濃度計測器で 1 秒ごとに計測した。授業開始時と終了時の濃度差を教室内の CO₂ 濃度変化量とし、教室内に「植物あり」の場合と「植物なし」の場合の CO₂ 濃度変化量を比較した。

<植物を置いたときの状況(図 5)>

- ・使用した教室 : 2 年 6 組
- ・人数 : 計 40 人(生徒 39 人と教師 1 人)
- ・置いた植物 : パキラ 9 個(総葉面積約 6.2 m^2)
- ・教室の窓やドアは完全に閉まった状態
- ・CO₂ 濃度計測器は教室後方の棚上に固定する



図5 教室にパキラを置いた様子



図6 CO₂ 濃度測定器を置いた様子

(2) 結果

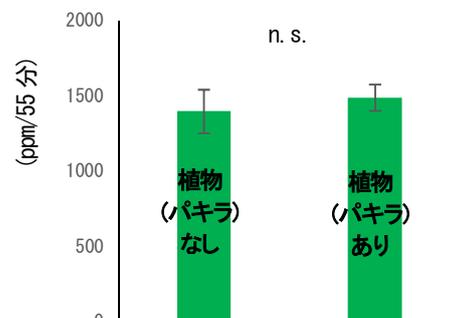


図7 55 分間の CO₂ 濃度変化量 (ppm/55 分) n=8 (n.s. は t 検定 (5%) で有意差がないことを示す。)

(3) 考察

パキラを教室後方の棚に、置ける限り(9個体)置いても、授業55分間における教室内のCO₂濃度の上昇を抑えることはできないことが分かった(図7)。

その原因としては、教室内での光子量の不足や、CO₂が気孔に入る際の気孔抵抗の影響が考えられる。⁽⁵⁾

9. 今後の展望

教室に植物を置いたときの、光子量不足や気孔抵抗の影響を改善するために、図8のような方法を考えた。この方法の利点として、以下の3つがあげられる。

- ①ベランダの光子量は、教室内の12倍である。
- ②水を置くことで、ドーム内の湿度が上昇して気孔が開き、気孔抵抗が低減する。
- ③教室内の空気を送風することで、CO₂の境界層抵抗が低減する。
今後、この方法を実践し、CO₂濃度上昇を抑えられるかを検証する。

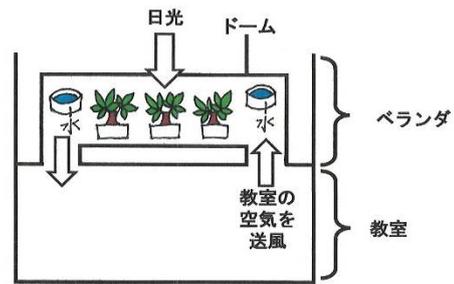


図8 新しく考案した装置

10. 謝辞

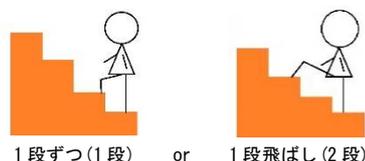
研究を進めるにあたり御指導御助言をいただいた、お茶の水女子大学 理学部 生物学科教授 加藤美砂子先生並びに、実験に協力くださった本校2年6組の皆さんに深く感謝申し上げます。

11. 参考文献

- (1) 数研出版, 改訂版生物基礎
- (2) 文部科学省, 改訂版学校環境衛生マニュアル
- (3) 第一学習社, 五訂版スクエア最新図説生物 neo
- (4) 渋谷俊夫 (大阪府立大学), 植物の光合成機能の評価
- (5) テイツ/ザイガー, 植物生理学・発生学(原著第6版)

どっちが楽なの1段2段？

群馬県立前橋女子高校 3年 越沢琴奈 天方寛香



1. 要旨

階段を登るとき1段ずつと1段飛ばしのどちらが疲れにくいのかを調べるためにこの実験を行った。予備実験から歩幅だけではなく1段ずつで登ることによる到達時間の変動も疲れ方に関係しているとわかった。そこで、「1段ずつは1段飛ばしより到達時間が長くなるので1段ずつのほうが疲れにくい」という仮説をたてた。実験は距離の短い学校の階段と距離の長い市役所の階段で行った。学校で行った実験では仮説を裏付ける結果が得られた。市役所で行った実験では大方仮説を裏付ける結果が得られたが、一部仮説に反する結果が見られた。仮説に反する結果が得られた部分のときのみ、被験者が無酸素運動していたことが原因だと考えられる。したがって有酸素運動をしているときに限り仮説は成り立つといえる。

キーワード 階段, 疲れ, 心拍数

2. 研究目的

私の友人は山岳部である。その友人によると山を登る際に疲れにくいのは大股なのだそう。しかし、山登りに関する指南書によると小股のほうが疲れにくいとある¹⁻⁵が、これらには根拠となるデータが示されていない。そこで、本研究では歩幅の観点から大股と小股ではどちらが疲れにくいのかを定量的に調べることにした。

3. 実験を行った条件

3-1. 定義及び置き換え

歩幅をかえて山を登る実験にはあいまいなことが3つある。1つ目は山によって高さや地面の状況が異なるということである。2つ目は歩幅が人によって異なるということである。3つ目は疲れるとはどういうことかということである。これらのあいまいなことを排除するために、定義及び置き換えを行う。

1つ目について、条件を一律にして歩幅をそろえて登ることのみに焦点をあてて実験をするために今回は山を階段に置き換えた。2つ目について、歩幅をそろえるために小股を1段ずつ、大股を1段飛ばしと置き換えた。3つ目については次の式で定義する疲労度指数を用いて、値が100%からより離れているほうを疲れしているとした。

$$\frac{\text{(階段を登った後の疲れの指標の値)}}{\text{(安静時の疲れの指標の値)}} \times 100 \dots \text{疲労度指数}[\%]$$

疲れの指標を相対値にしたのは個人によって安静時の値が異なることによる誤差を排除し、安静時の値からどのくらい疲れの指標の値が増減したかを調べるためである。

3-2. 使用した階段について

予備実験Ⅰ, Ⅱ, 本実験A, Bは前橋女子高校の北校舎西階段1~5階(以下前女の階段とする)を使用した。この階段の段数は92段、勾配は57.9%、段差は16.8cmである。本実験

A' , B' は前橋市役所の東側の階段 3~12 階(以下市役所の階段とする)を使用した。この階段の段数は 176 段、勾配は 65.3%、段差は 17.3cm である。市役所において 3 階からにしたのは、M2 階や段違いの踊り場があり、正確に実験できないと考えたからである。また、いずれの場合も内側の手すりに近いほうを出来るだけ歩いてもらった。なお、踊り場の距離については無視して考える。また、市役所の階段は被験者全員にとって初めて登る階段だったため、そのことが実験結果に影響しないように実験の前に 1 度階段を登ってもらった。その後、息が整うまで十分待ってから、実験を開始した。前女の階段は被験者全員が常時使う階段であるため、このような練習は行わなかった。

3-3. 被験者の選び方について

被験者としては主に山岳部 1, 2 年生に協力してもらった。また、運動のできる、できないが結果に影響しないように山岳部だけでなく、新聞部、理科部、文芸部、LRI 部などの文化部にも協力してもらった。

4. 予備実験

予備実験では疲れの指標をいつ測るべきか(予備実験 I)、疲れの指標にふさわしいのはどの指標か、階段をどのくらいの速さで登るべきか(予備実験 II)を調べた。

4-1. 予備実験 I

4-1-1. 研究方法

疲れの指標の候補には「高校生に扱える。」「疲れ方を反映する可能性がある。」の 2 つの条件を満たすものとして、最高血圧、最低血圧、心拍数、唾液アミラーゼ濃度を選んだ。唾液アミラーゼ濃度は、数値が高いほど、ストレスをより多く感じているということを示す。

1. 前女の階段を登る前に最高血圧、最低血圧、心拍数、唾液アミラーゼ濃度を計測し、これを安静時の値とした。
2. 階段を 1 段ずつ登ってもらった。
3. 登り終わった直後、5 分後、10 分後、15 分後に 1. と同様の 4 つの疲れの指標候補を計測した。
4. すべての実験において疲労度指数を計算して、それぞれの疲れの指標候補の疲労度指数が計測時間によって有意な差が認められるか、Tukey の多重比較検定 (5%) を用いて求めた。

4-1-2. 結果

最高血圧、最低血圧、唾液アミラーゼ濃度については直後、5 分後、10 分後、15 分後のいずれにも有意な差が認められなかった。心拍数については直後と 5 分後、直後と 10 分後、直後と 15 分後の間に有意な差が認められた。

表 1 疲れの指標候補, 経過時間ごとの疲労度指数 (n=10)

	疲労度指数(%)				
	最高血圧	最低血圧	唾液アミラーゼ濃度	心拍数	
直後	122 ± 19	113 ± 18	98 ± 9	114 ± 8	a
5分後	101 ± 15	101 ± 17	95 ± 10	90 ± 5	b
10分後	102 ± 14	96 ± 11	103 ± 18	89 ± 5	b
15分後	98 ± 13	103 ± 14	76 ± 10	89 ± 5	b
	n.s.	n.s.	n.s.	**	

n. s. は有意差が認められないことを示す. **は1%水準で有意な差が認められたことを示す.

同じ英文字間には Tukey (5%) で有意差が認められないことを示す.

4-1-3. 考察

心拍数については 5~15 分後に有意な差が認められず, すでに安静時の心拍数に戻ってしまったと考えられるため, 直後に測るべきだと考えられる. 最高血圧, 最低血圧, 唾液アミラーゼ濃度は経過時間ごとに有意な差が認められなかったため, 直後から 15 分後までならいつ測ってもよいと考えられる. この結果より, 今回の実験では実験器具の準備の都合も考慮し, 最高血圧, 最低血圧, 心拍数は上り終わった直後, 唾液アミラーゼ濃度は 5 分後に測ることとした.

4-2. 予備実験 II

速く上った時と遅く上った時では疲れ方が異なっているということは明らかであると考え, 4 つの指標候補のうち速く登った時と遅く登った時の指標候補の疲労度指数の値に有意な差が認められるものを疲れの指標として適していると考えた.

4-2-1. 研究方法

1. 前女の階段を登る前に最高血圧, 最低血圧, 心拍数, 唾液アミラーゼ濃度を計測し, これを安静時の値とした.
2. 被験者が速いと思う速さ, 遅いと思う速さで階段を 1 段飛ばし, 1 段ずつ登ってもらった. また, この時の到達時間を測った.
3. 登り終わった直後に最高血圧, 最低血圧, 心拍数, 登り終わって 5 分後に唾液アミラーゼ濃度を計測した.
4. すべての実験において疲労度指数を計算してそれぞれの指標について 1 段飛ばしと 1 段ずつ各々の場合における疲労度指数間に速さによる有意な差が認められるかを 1 段飛ばしと 1 段ずつのそれぞれの場合において T 検定(両側検定)を使って求めた.

4-2-2. 結果

最高血圧, 最低血圧, 唾液アミラーゼ濃度については有意な差がいずれも認められなかつ

た。心拍数については、1段ずつに有意な差が認められた。また、速く登ってもらった時の到達時間の平均は35秒、遅く登ってもらった時の到達時間の平均は66秒であった。

表2 疲れの指標候補ごとの疲労度指数(単位は%) (n=26)

疲れの指標候補	1段飛ばし		有意差	1段ずつ		有意差
	速い	遅い		速い	遅い	
最高血圧	119 ± 5	117 ± 4	n. s.	116 ± 4	112 ± 5	n. s.
最低血圧	140 ± 12	122 ± 10	n. s.	126 ± 10	122 ± 10	n. s.
唾液アミラーゼ濃度	205 ± 74	186 ± 62	n. s.	261 ± 86	213 ± 86	n. s.
心拍数	167 ± 5	157 ± 4	n. s.	167 ± 6	146 ± 6	*

n. s. は有意差が認められないことを示す。

* は2つのデータ間に5%水準で有意な差が認められたことを示す。

4-2-3. 考察

速く登った時と遅く登った時の心拍数の疲労度指数の値に有意な差が認められたため、疲れの指標として使えるのは心拍数のみであると考えられる。

次に、本実験で使用する到達時間について考察する。速く登る場合は、被験者が速く登った時の到達時間の平均である35秒を使うと被験者全員が登れない可能性があるため、全員が登れる40秒が妥当であると判断した。遅く登る場合は、被験者が遅く登った時の到達時間の平均である66秒をそのまま用いても問題ないと判断した。

5. 本実験 AB

予備実験のときの被験者の様子から1段ずつが疲れにくいというのは1段ずつで登ることによる時間変化が影響しているのではないかと考えた。そこでこのことを検証するために本実験 AB を行った。

5-1. 仮説

1段ずつは1段飛ばしより到達時間が長くなるので、登山家の感覚どおり1段ずつが疲れにくい。

5-2. 階段を登る時間について

仮説を検証するために到達時間をそろえたり、かえたりするとそれに伴って1歩にかける時間かわる。このまま1歩にかける時間を無視してしまうと到達時間と1歩にかける時間のどちらが疲れに影響しているかが分からない。そこで到達時間とともに1歩にかける時間も条件の1つと考え、到達時間をそろえる実験である本実験 A と1歩にかける時間をそろえる実験である本実験 B を行い、仮説の検証を行うことにした。下の式①は到達時間と1歩にかける時間の関係式である。

$$\frac{\text{(到達時間)}}{\text{(歩数)}} = \text{(1歩にかける時間)} \quad \dots \text{①}$$

5-3. 本実験 A (到達時間をそろえ, 1 歩にかける時間をかえた場合.)

5-3-1. 研究方法

1. 前女の階段を登る前に心拍数を計測し, これを安静時の値とした.
2. 1~5 階の到達時間を 40 秒, 66 秒にしてそれぞれ 1 段飛ばし, 1 段ずつ登ってもらった.
3. 登り終わった直後に心拍数を計測した.
4. すべての実験において疲労度指数を計算して, 40 秒の 1 段ずつと 1 段飛ばしの疲労度指数, 66 秒の 1 段ずつと 1 段飛ばしの疲労度指数の間にそれぞれ有意な差が認められるかを対応のある T 検定 (両側検定) を使って求めた.

5-3-2. 結果

いずれの場合も 1 段ずつと 1 段飛ばしの疲労度指数について有意な差が認められなかった. したがって, 到達時間をそろえ, 1 歩にかける時間をかえた場合 1 段ずつと 1 段飛ばしの疲れやすさは変わらないと考えられる.

表 3 到達時間ごとの疲労度指数 (n=20)

到達時間	疲労度指数 (%)		有意差
	1 段飛ばし	1 段ずつ	
40 秒	179 ± 6	188 ± 7	n.s.
66 秒	165 ± 7	164 ± 7	n.s.

n. s. は 2 つのデータ間に有意な差が認められないことを示す.

5-4. 本実験 B (1 歩にかける時間をそろえ, 到達時間をかえた場合.)

5-4-1. 仮説

1. 前女の階段を登る前に心拍数を計測し, これを安静時の値とした.
2. 1 歩にかける時間を 1 秒にして, それぞれ 1 段飛ばし, 1 段ずつ登ってもらった. ここで 1 歩にかける時間を 1 秒にしたのには 2 つ理由がある. 1 つ目は 1 段飛ばしと 1 段ずつのどちらでも登れる速さだからである. 40 秒 (被験者全員が登れる速い到達時間) で登った場合の 1 歩にかける時間を①を用いて求めたところ, 1 段飛ばし (到達するまでの歩数は 46 歩) が 0.87 秒, 1 段ずつ (到達するまでの歩数は 96 歩) が 0.43 秒であった. 1 秒は 0.87 秒よりも遅いため被験者全員が登れると判断した. 2 つ目はこの実験を行うにあたって正確に 1 歩にかける時間をそろえるために使用したメトロノームで設定する BPM (Beats per minute) が整数値になるので, 測りやすいからである. 1 歩に 1 秒かけて階段を登るときにはメトロノームが打つ 1 拍が 1 秒になるようにすればよい. そのため設定する BPM は 60BPM であり, 整数だから測りやすいと判断した.
3. 登り終わった直後に心拍数を計測した.
4. それぞれ疲労度指数を計算して, 1 段ずつと 1 段飛ばしの疲労度指数の間にそれぞれ有意な差が認められるかを対応のある T 検定 (両側検定) を使って求めた.

5-4-2. 結果

1 段ずつと 1 段飛ばしの心拍数の疲労度指数について有意な差が認められた。また、1 段ずつのほうが 1 段飛ばしの疲労度指数よりも 100%に近いから、1 段ずつのほうが疲れにくいと考えられる。

表 4 1 歩 1 秒のときの疲労度指数 (n=12)

1歩にかかる 時間	疲労度指数(%)		有意差
	1段飛ばし	1段ずつ	
1秒	166 ± 7	138 ± 5	**

**は 2 つのデータ間に 1%水準で有意な差が認められたことを示す。

5-5. 本実験 AB の考察

仮説は正しく、1 段ずつの場合は 1 段飛ばしの場合に比べて到達時間が長いから、1 段ずつの方が疲れにくいと考えられる。本実験 A, B の到達時間と 1 歩にかかる時間の関係について①式から導かれること、及び本実験 A, B の結果をまとめると表 5 のようになる。到達時間が同じなら 1 歩にかかる時間が異なっても疲れやすさは 1 段飛ばしと 1 段ずつで差が認められず(本実験 A)、逆に 1 歩にかかる時間が同じでも到達時間が異なっていれば疲れやすさにも差が認められた(本実験 B) ことから、疲れやすさが 1 歩にかかる時間に関わらず到達時間によって決まっていると考えられる。

表 5 本実験 A, B の方法及び結果

	条件	本実験A		本実験B	
	方法	1 歩にすすむ段数	1段飛ばし	1段ずつ	1段飛ばし
階段の段数		そろえた(92段)			
到達時間		そろえた		短い	長い
1歩にかかる時間		長い	短い	そろえた	
結果	疲れやすさ	同じ		大	小

ここで、1 段ずつにすると到達時間が本当にのびるのかということについて検証した結果を示す。表 6 は速さの条件を固定せずに階段を 1 段ずつと 1 段飛ばしで登ってもらったときの平均到達時間である。このとき 1 段飛ばしと 1 段ずつの到達時間の間に有意な差が認められたことから、速さの条件を固定しないときは 1 段ずつの到達時間の方が長くなることがわかる。

表 6 1 段飛ばしと 1 段ずつで速さの制限を与えずに登ったときの時間 (n=5)

到達時間(秒)		有意差
1段飛ばし	1段ずつ	
50 ± 4	64 ± 3	**

**は 2 つのデータ間に 1%水準で有意な差が認められたことを示す。

5-6. 本実験 AB の結論

到達時間が長くなるから、1 段ずつのほうが疲れにくい。

6. 本実験 AB'

前女の階段では5階までしか実験できず、階段を登っている時間は1分ほどにしかならない。そこで、本実験 AB' では前女の階段における結果が距離を伸ばしても成り立つかどうか確かめるために市役所で行った実験である。ここでは本実験 A, 本実験 B にそれぞれ対応する本実験 A', 本実験 B' を行った。

6-1. 仮説

距離を伸ばしても同様の結果が得られる。

6-2. 本実験 A' (到達時間をそろえ、1歩にかける時間は変える。)

6-2-1. 研究方法

- 市役所の階段を登る前に心拍数を計測し、これを安静時の値とした。
- 3~12階の到達時間を75.4秒、132秒にしてそれぞれ1段ずつ、1段飛ばしで登ってもらった。75.4秒と132秒に設定したのは、それぞれ前女の階段の実験の40秒、66秒に対応しており、正確な実験を行うために使用したメトロノームで測りやすいからである。75.4秒が前女の階段における40秒、132秒が前女の階段における66秒に対応しているというのはそれぞれの1歩にかける時間がほとんど同じということである。表9に、①を用いて求めた前女の階段における到達時間40秒、66秒、市役所の階段における到達時間75.4秒、132秒の1歩にかける時間、それを計測するにあたって使用したメトロノームのBPMを示す。ただし、距離が短かった前女の実験ではメトロノームを使用しなかった。また、75.4秒以外にも到達時間を81.2秒、88秒、105.6秒、176秒にして同様の実験を行った。このときの1歩にかかる時間と測るのに使用したBPMも表7に示す。
- 登り終わった直後に心拍数を計測した。
- すべて実験において疲労度指数を計算して、それぞれの到達時間における1段ずつと1段飛ばしの疲労度指数の間にそれぞれ有意な差が認められるかを対応のあるT検定(両側検定)を使って求めた。

表7 到達時間と1歩にかける時間とBPMの歩幅ごとの対応表

前女			市役所			BPM
到達時間		1歩にかける時間	到達時間		1歩にかける時間	
40秒	1段飛ばし	0.87秒	75.4秒	1段飛ばし	0.86秒	70
	1段ずつ	0.43秒		1段ずつ	0.43秒	140
66秒			81.2秒	1段飛ばし	0.92秒	65
				1段ずつ	0.46秒	130
	88秒			1段飛ばし	1.00秒	60
				1段ずつ	0.50秒	120
	105.6秒			1段飛ばし	1.20秒	50
				1段ずつ	0.60秒	100
132秒	1段飛ばし	1.43秒	132秒	1段飛ばし	1.50秒	40
	1段ずつ	0.72秒		1段ずつ	0.75秒	80
176秒			1段飛ばし	2.00秒	30	
			1段ずつ	1.00秒	60	

6-2-2. 結果と考察

75.4秒と81.2秒の場合のみ心拍数の疲労度指数の間に有意な差が認められた。それ以外の場合は認められなかった。つまり、75.4秒と81.2秒の場合を除いて本実験Aの結果と同様の結果が得られた。

表8 到達時間ごとの疲労度指数

到達時間	疲労度指数 (%)		有意差	被験者数			
	1段飛ばし	1段ずつ		75.4秒	18人	81.2秒	16人
75.4秒	166 ± 7	177 ± 7	*	88秒	16人	105.6秒	14人
81.2秒	145 ± 7	157 ± 6	*	132秒	10人	176秒	10人
88秒	173 ± 10	169 ± 6	n. s.	n. s. は2つのデータ間に有意な差が認められなかったことを示す。			
105.6秒	158 ± 8	158 ± 7	n. s.	* は2つのデータ間に5%水準で有意な差が認められたことを示す。			
132秒	168 ± 6	165 ± 8	n. s.				
176秒	130 ± 8	144 ± 11	n. s.				

本実験Aとは異なって、75.4秒と81.2秒で疲れやすさに違いが見られた理由については75.4秒と81.2秒の1段ずつは無酸素運動になってしまったためだと考えられる。無酸素運動であるかどうかは{(計測した心拍数の平均)/(予想最大心拍数)}×100 [%]・・・★が無酸素作業閾値である75%を超えるかどうかで判断できる。無酸素作業閾値(Anaerobic threshold, AT)とは、有酸素運動と無酸素運動の境界線を示すもので、AT値以上の運動強度の運動は無酸素運動となる⁷。表9はこの実験において計測した75.4秒、81.2秒、88秒、105.6秒、132秒、176秒の1段ずつ、1段飛ばしの心拍数の平均とTanaka H氏ら⁶による(予想最大心拍数)=208-0.7×(年齢)を使用して求めた16歳の予想最大心拍数による★の値を示している。表より、75.4秒と81.2秒の1段ずつは★の値が75%を超えていることから無酸素運動になっていたことがわかる。

表9 到達時間ごとの★の値

到達時間	★の値 (%)	
	1段飛ばし	1段ずつ
75.4秒	72	76
81.2秒	72	79
88秒	75	75
105.6秒	72	71
132秒	68	67
176秒	64	58

また、酸素が不足する条件ではクエン酸回路と電子伝達系が進行しにくくなるためピルビン酸が酸化されて乳酸ができる⁸。さらに、乳酸が、心臓に還流する血液量が減少させることと体温調節機能を抑制させて体温を上昇させることにより、心拍数が上昇する⁹。したがって、無酸素運動になった75.4秒と81.2秒の1段ずつは有酸素運動であった1段ずつの時よりも心拍数が上がったと考えられる。

6-3. 本実験B' (1歩にかける時間はそろえ、到達時間はかえた場合。)

6-3-1. 研究方法

1. 前女の階段を登る前に心拍数を計測し、これを安静時の値とした。

2. 1歩にかける時間を1秒にして、それぞれ1段飛ばし、1段ずつ登ってもらった。
3. 登り終わった直後に心拍数を計測した。
4. それぞれの疲労度指数を計算して、1段ずつと1段飛ばしの疲労度指数の間にそれぞれ有意な差が認められるかを対応のあるT検定（両側検定）を使って求めた。

6-3-2. 結果

1段飛ばしと、1段ずつで疲労度指数の値に有意な差が認められた。よって、1歩にかける時間をそろえたとき、1段ずつと1段飛ばしでは1段ずつのほうが疲れにくい。これは本実験Bの結果と同様である。

表10 1歩1秒のときの疲労度指数 (n=10)

1歩にかける 時間	疲労度指数(%)		有意差
	1段飛ばし	1段ずつ	
1秒	193 ± 9	149 ± 10	**

**は2つのデータ間に1%水準で有意な差が認められたことを示す。

6-4. 考察

本実験A'では有酸素運動をしているときに限り、進行する速さがそろっているときに1段ずつと1段飛ばしで疲れやすさはかわらないという本実験Aと同じ結果が得られた。

本実験B'において1段ずつの★の値は58%、1段飛ばしの★は75%であったため、本実験B'のときも有酸素運動を行っていたと考えられる。このとき、本実験B'では本実験Bと同じ結果が得られた。したがって、仮説は条件付で、有酸素運動をしているときには本実験A、Bと同じ結論が得られると考えられる。

6-5. 本実験AB'の結論

距離を伸ばしても同じ結果が得られるのは有酸素運動を行っているときだけである。

7. 全体の結論

登山家の感覚は正しく、1段ずつのほうが疲れにくい。それは1段ずつのほうが1段飛ばしの時より到達時間が長くなるからである。しかし、これは有酸素運動を行っている場合の話に限る。

8. 課題

山の状況を階段に置き換えたため、今回の研究は山の楽な登り方を歩幅の観点から突き止めるための基礎データにすぎない。したがって今後はこの基礎データを基に条件を1つずつ山に近づけていきたいと考えている。また、今回は突き止められなかった、無酸素運動の場合の歩幅による疲れやすさも追求してみたい。

9. 引用文献・参考文献

<引用文献>

1. 米山悟 2016年 『冒険登山のすすめ』 ちくまプリマー新書
2. 西野淑子 2016年 『山歩きスタートブック 道具と歩き方がわかる, 行きたいコースが見つかる』 技術評論社
3. ヤマケイ・無名山塾カルチャー教室リーダー養成講座より 2004年 『「連れて行ってもらう」から「連れていく」へ 岩崎元郎校長の決定版登山学 無名山塾編』 山と溪谷社
4. 大関義明 2004年 『これで身につく山歩き 100の基本』 JTB
5. 柏澄子 大竹美緒子 2015年 『はじめよう!山歩きレッスンブック』 JTBパブリッシング
6. Hirofumi Tanaka, PHD, Kevin D. Manahan, MS, Douglas R. Seals, PHD 2001年 『Age-Predicted Maximal Heart Rate Revisited』 Journal of the American College of Cardiology
7. 中村隆一 斎藤宏 長崎浩 2003年 『基礎運動学 第6版』 医歯薬出版株式会社
8. 吉里勝利 阿形清和 倉谷滋 筒井和義 鱈田武志 三村徹郎 村岡裕由 監修 2017年 『5訂版 スクエア最新図説生物 neo』 第一学習社
9. 能勢博 2014年 『山に登る前に読む本 運動生理学からみた科学的登山術』 講談社

<参考文献>

- 近藤信行 1982年 『登山入門』
- 尾前照雄 1996年 『血圧の話』
- 能勢博 2014年 『山に登る前に読む本 運動生理学からみた科学的登山術』 講談社
- 田中宏暁 2017年 『ランニングする前に読む本 最短で結果を出す科学的トレーニング』 講談社
- 中野ジェームズ修一著 田畑尚吾監修 2018年 『医師に「運動しなさい」と言われたら最初に読む本』 日経BP社

11. 謝辞

実験に協力して下さった, 本校山岳部, 新聞部, 理科部, 文芸部, LRI部, 食物部の皆さんありがとうございました. 特に山岳部の皆さんには何度も実験の依頼をいたしました. 毎回忙しいところ貴重な時間を実験にあててくださりありがとうございました.

夏に涼しく過ごせる地面の条件

要旨

本研究では、間隙(=地面内部の空気層)の体積差及び気候等の外的要因と地面の温度上昇との関係性、また地面の温度上昇と人間の体感温度との関係性について調査した。小規模の地面を作成し、間隙の体積について比較したところ、間隙の体積が大きい場合で地面の温度上昇が小さくなった。また、体感温度については実験の範囲内では地面の温度上昇に伴って上昇することが分かった。今後は実際に屋外で実験をし、室内実験の結果の正当性を確かめたい。

問題提起・目的

アスファルトや土、石畳など、地面には多くの種類がある。それらの地面において必ずしも「快適」である地面が用いられているとは言い難い。例えば、夏場の太陽に暖められたアスファルトに苦しめられている人は大勢いるだろう。そこで間隙の体積の違いに着目し、地面の温度上昇との関係について調査した。また気候などの外的要因の影響についても調べ、それらを基にして、暑い夏場に最も涼しく過ごすことが出来る地面を考察した。

研究方法(予備実験)

予備実験 1. 間隙の体積の測定法

手法 1. 水で間隙の体積を測定する(図 1)

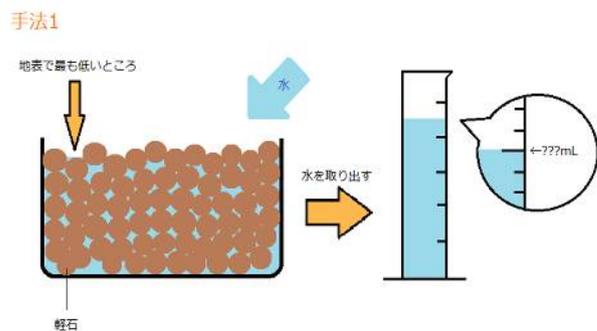
- ①地面の表面で最も高さが低い所まで水を入れる。
- ②水を取り出し、メスシリンダーで体積を測定する。

手法 2. 質量で間隙の体積を計算する

- ①手法 1 で使用した地面(乾燥済)の質量(材質のみ)を量る。
- ②地面を作り、質量を量る。
- ③②で作った地面の質量から実験装置と①で量った材質の体積を引き、その結果を空気の密度(g/cm^3)で割る。

予備実験 2. 使用する材質の決定

- ①三種類の異なる材質(砂利、軽石、土)で地面を作成する。
- ②予備実験 1 で適当と判断した方法で間隙の体積を計測する。
- ③ビームライトが地面の真上に来るように置き上からダンボールをかぶせ、地面内部とダンボールに温度計をさす。また、装置のすぐそばに温度計を置く。地面内部の温度計の数値を内部温度、ダンボールの温度計の数値を外部温度、外の温度計の数値を外気温とする。
- ④暗室内で十分間光を当て、内部温度及び外部温度、外気温の変化を測定する。



↑ 図1 予備実験1における
手法1の体積の計測方法

図2→
予備実験2の実
験装置(ダンボ
ールなし)



実験結果(予備実験)

予備実験1.

↓ 表1 間隙の体積の測定結果

(cm^3)	手法1	手法2
1回目	237	256
2回目	239	243
3回目	238	228
4回目	236	266
5回目	241	274
標準誤差	1.52	6.42

予備実験2.

↓ 表2 地面の内部温度及び外部温度、外気温の変化量($n=5$)

	内部温度($^{\circ}\text{C}$)	外部温度($^{\circ}\text{C}$)	外気温($^{\circ}\text{C}$)	標準誤差
軽石	34.62	30.96	1.24	1.26
砂利	38.06	29	0.97	0.09
土	40.42	28.02	1.05	1.13

条件(予備実験2).

- ・ 地面の表面積: 131cm^2
- ・ 容器の体積: 930cm^3
- ・ 与えた総熱量: $7.8 \times 10^4\text{J}$

予備実験 1.

手法 2 では同一の地面を使用したにもかかわらず、測定するたび数値にかなりのぶれが見られた。標準誤差も大きく、本実験で使用するには不適切であると考えられる。手法 1 では多少のぶれは見られたものの、標準誤差は手法 2 よりもかなり小さい値だった。また、測定にかかる時間も手法 2 より少なかった。

予備実験 2.

軽石は粒の大きさをそろえやすく比較的安価だが、間隙の体積を測定する際に軽石が浮いてしまうため測定が困難だった。土については粒が小さすぎるためほとんど間隙ができず、間隙の体積による地面の温度上昇について調査するには不適切であると考えられる。

砂利はふるいを用いれば粒の大きさをそろえることが可能であり、適度な間隙を作り出すことが出来た。また、他の二つの材質よりも体積の測定が容易であり数値も正確だった。

結論

間隙の体積については手法 1 が、模擬地面の材質については砂利が最も適している。外部に熱が逃げないようにダンボールをかぶせて熱量を与えたが、ダンボールでは完全に断熱するのは難しい。ダンボールの内側と地面の容器の下、その他実験装置にある隙間に断熱材を敷き詰めて再び実験を行ったところ、総熱量の値は実際にライトが与える熱量の値に極めて近くなった。本実験においても断熱材を用いることとする。



図 3 →
予備実験 2 の実験装置
(ダンボールあり)

研究方法 (本実験)

本実験 1. 異なる間隙の体積

- ① 同じ材質の砂利をふるいにかけて、L:10mm以上、M:5mm~10mm
S:5mm以下に分ける。
- ② L、M、S それぞれの地面の間隙の体積を、水を使って計測する。
- ③ 地面内部とダンボールに温度計をさす。また、装置のすぐそばに温度計を置き、温度の変化を測定する。

本実験 2. 同じ間隙の体積

- ①間隙の体積をそろえた地面を用意する。
- ②地面内部とダンボールに温度計をさす。また、装置のすぐそばに温度計を置き、温度の変化を測定する。

本実験 3. 体感温度

- ①本実験 1 における S, M の地面を用意する。
- ②下に示す条件で熱を与え、終わりの温度を測定する。
- ③熱を与え終わったらすぐにダンボールをとり、それぞれの地面の上に同時に腕をかざしてもらう。
- ④どちらの地面の上が暑く感じたか集計する。

実験結果(本実験)

本実験 1.

↓表 3 地面の内部温度及び外部温度、外気温の変化(n = 10)

	内部温度 (°C)	外部温度 (°C)	外気温 (°C)	標準誤差	間隙の体積 (cm ³)
S サイズ	40.42	3.50	0.04	1.13	213
M サイズ	5.74	13.97	0.32	0.46	248
L サイズ	1.21	17.36	0.11	1.52	277

本実験 2.

↓表 4 地面の内部温度及び外部温度、外気温の変化(n = 10)

	内部温度 (°C)	外部温度 (°C)	外気温 (°C)	標準誤差	間隙の体積 (cm ³)
S サイズ 1	38.20	4.29	0.07	1.32	214
S サイズ 2	37.98	4.46	0.05	1.27	212
M サイズ 1	6.22	14.33	0.29	0.90	250
M サイズ 2	5.87	13.79	0.30	1.85	251
L サイズ 1	1.38	17.0	0.16	2.11	280
L サイズ 2	1.19	16.6	0.13	1.30	276

条件(本実験 1, 2, 3).

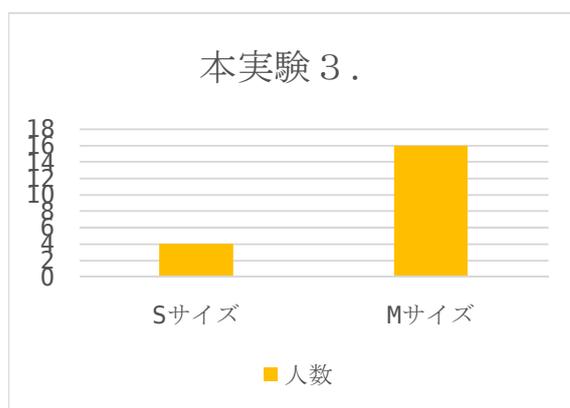
- ・地面の表面積:131 cm²
- ・容器の体積:930 cm³
- ・与えた総熱量:7.8×10⁴ J

本実験 3.

↓表 5 内部温度及び外部温度、外気温の測定結果

	内部温度 (°C)	外部温度 (°C)	外気温 (°C)	標準偏差	間隙の体積 (cm ³)
Sサイズ	39.27	4.53	0.08	1.20	214
Mサイズ	38.90	10.68	0.27	1.63	249

↓図 4 「どちらの地面が暑いか」と言う質問に対する回答の集計結果



本実験 1.

間隙の体積が大きくなるほど内部温度の変化が大きかった。また、内部温度の変化が大ききほど外部温度の変化が小さかったうえ、断熱材の温度も上昇していた。これらのことから、与えた熱は内部温度の上昇と外部温度の上昇に使われたほか、断熱材に吸収されたと考えられる。統計解析を行った結果、内部温度と外部温度の変化、間隙の体積全てで有意差が認められた。

本実験 2.

同じ体積の二つの地面の間で間隙の体積に差はなかった。また、内部温度と外部温度の変化にも差は見られなかった。このことから、本実験 1 の結果の正当性が強まったと考える。この実験においても断熱材の温度が上昇しており、与えた熱量との差を調べたところほとんど差がなかったことから、与えた熱量は全てダンボール内での温度変化に使われたと考えられる。

本実験 3.

本実験 1 と同様に、S サイズと M サイズでは温度の変化量に差が見られた。M サイズを選んだ人は「こっちの方が、熱が昇ってくる感じがした」「熱くなった道路の上みたい」といった感想を持っていた。外部温度の変化が大きいほど人が地面の上で感じる体感温度も高くなると考えられる。

結論

間隙の体積が大きいほど内部温度の変化は大きく、それに伴って外部温度の上昇は小さくなる。また、外部温度の変化が小さいほど人がその地面の上で感じる体感温度は低くなる。

課題

間隙の体積と内部温度の変化、内部温度の変化と外部温度の変化、外部温度の変化と人が地面の上で感じる体感温度のそれぞれの間に相関があることがわかった。このことから、間隙の体積は地面の温度上昇に影響を与え得ると言える。また、体感気温とも関係があると考えられる。

研究方法(追加実験)

追加実験 1. 水と体感温度

- ①本実験 2 と同様の装置を用意する。
- ②片方の地面に霧吹きで水 3 mL を吹きかけ、地面表面を湿らせる。(乾燥した地面→A、湿らせた地面→B)
- ③本実験 3 と同じ条件で実験する。

追加実験 2. 風と体感温度

- ①本実験 2 と同様の装置を用意する。
- ②片方の地面の上に小型扇風機で風を吹かせる。
- ③本実験 3 と同じ条件で実験する。

追加実験 3. 湿度と体感温度

- ①本実験 2 と同様の装置を用意する。
- ②片方のダンボール内に水の入ったビーカーを置く。
- ③本実験 3 と同じ条件で実験する。

実験結果(追加実験)

追加実験 1.

表 6 内部温度及び外部温度の測定結果 (n = 5)

	内部温度℃	外部温度℃	標準誤差	間隙の体積 cm ³
地面 A	37.84	4.85	1.12	214
地面 B	36.29	4.03	1.44	211

追加実験 2.

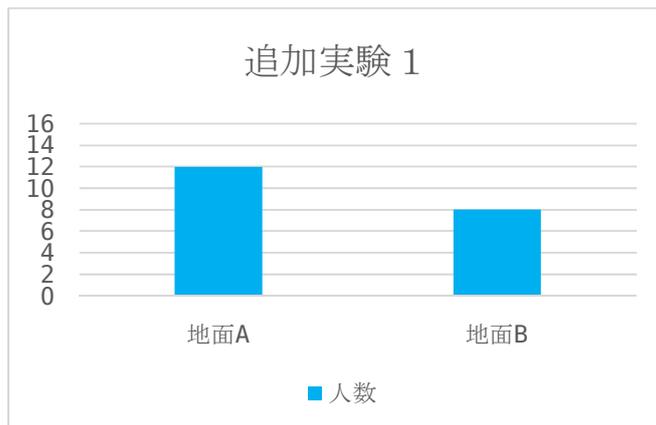
表 7 内部温度及び外部温度の測定結果 (n = 5)

	内部温度°C	外部温度°C	標準誤差	間隙の体積 cm ³
風なし	38.41	4.76	1.16	215
弱	38.60	4.58	1.13	213
中	37.92	4.47	1.91	217
強	38.26	4.39	1.60	209

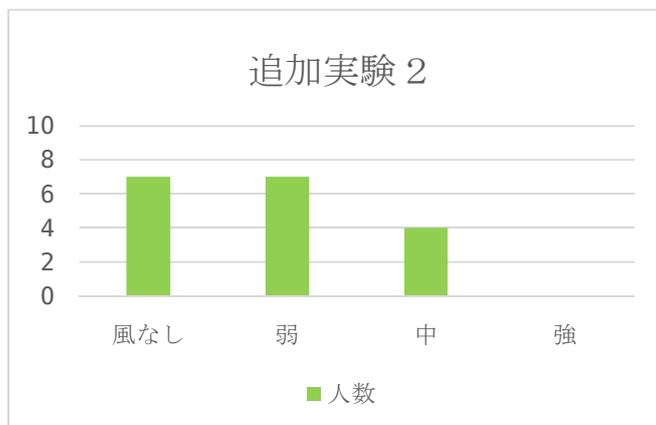
追加実験 3.

表 8 内部温度及び外部温度の測定結果 (n = 5)

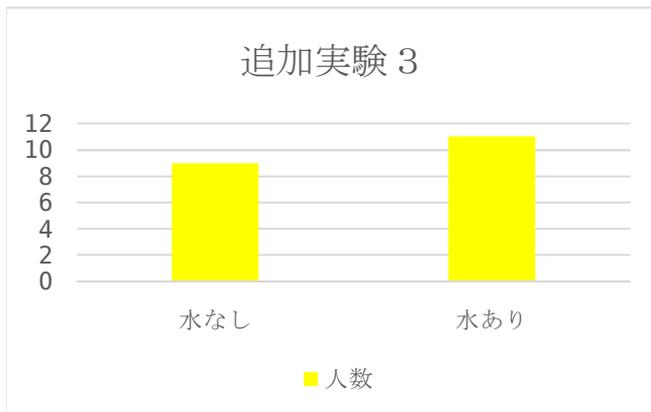
	内部温度°C	外部温度°C	標準誤差	間隙の体積 cm ³
水なし	37.01	5.25	3.22	218
水あり	38.30	4.79	0.98	213



←図 5 「どちらの地面が暑いか」という質問に対する回答の集計結果



←図 6 「どの地面が最も暑いか」という質問に対する回答の集計結果



←図7 「どちらの地面が暑いか」という質問に対する回答の集計結果

追加実験 1.

地面 A と地面 B では内部温度にはほとんど差は見られなかった。外部温度については地面 B の方が低くなった。日本の古くからの習慣に「打ち水」があるが、それとも関係があると考えられる。また、本実験 3 と同じように体感温度との関係を調べたところ、地面 A の方が熱いと答える人が多かった。

追加実験 2.

内部温度に大きな差は見られなかった。外部温度は風が強くなるほど低くなったが、統計解析を行ったところ優位な差は認められなかった。しかし、体感温度については大きな差が見られ、「強」を選んだ人は一人もいなかった。

追加実験 3.

追加実験 1, 2 とは異なり、内部温度にも若干の差が見られた。外部温度、体感温度については大きな差は見られなかった。「水あり」を選んだ人からも「熱さの種類が違うから少し選びにくかった」という意見や、「日本の夏は湿度が高いから、こっち(水あり)の方が分かりやすい」という意見があった。

結論

地面表面の乾湿や風の有無、湿度などの環境は体感温度に影響を与えるが、地面自体には影響を与えない。

課題

全ての実験で優位な差は見られたものの、数値としては軽微な差であった。また、実験を行った日の気温によって感じ方は異なると考えたため、外気温との比較も行ったところ、さほど大きな影響はなかった。

考察

どの実験においても、間隙の体積は地面の温度上昇に大きな影響を与えていた。また、湿度や風などの外的要因は地面そのものにはさほど影響を与えなかったものの、人間の感じる体感温度を変化させた。今回取り扱ったこの二つは人間が「涼しい」と感じる地面を見つけるために重要な要素であると考えられる。

結論(総括)

間隙の体積が大きくなるほど内部温度は高くなり、それに伴って外部温度の上昇は抑えられる。体感温度は外部温度の上昇が小さいほど低いため、間隙の体積が大きいほど地面の上での体感温度は低くなる。また、その日の天候による地面の内部温度の上昇への影響はほとんどないため、間隙の体積がより大きい地面であるほど夏に過ごしやすいといえる。

今後の展望

今回の実験は全て室内で行ったため、実際の地面で今回の結果が成り立つとは限らない。今後は実際に屋外に出て、道路や公園などの実際の地面で同様に実験を行い、本研究の正当性を確かめたい。また、本研究は地面の温度上昇と間隙の体積との関係のみに着目しているため、間隙の体積が大きいほうが夏快適に過ごせる地面であると結論付けた。しかし、実際に地面として利用することを考えると、ある程度の強度が必要になり、間隙の体積の大きさには限界がある。調べてみたところ、ウッドチップが本研究の結果に最も近く、一定の強度もあるらしい。機会があればそれを使って実験してみたい。

参考文献

「アスファルト舗装の内部温度の推定に関する研究」土木学会論文集第336号 姫野賢治 渡辺隆 勝呂太

謝辞

ご指導いただいた諸先生方、また実験にご協力いただいた前橋女子高校の皆様、本当にありがとうございました。

音楽と言語の関係性

～歌詞はめに着目して～

2年 SS 探究 根岸美空

1 序論

楽譜を見たときに、言語によってひとつの音符に1文字が当てはまるものと、ひとつの音符に1音節のものがあることに気づいた。その差がどこから来るのか気になり、音に対する歌詞はめに着目して研究を始めた。

2 仮説

日本語の歌は、原則1音1ひらがながあてはまるが、英語では1音1単語である。

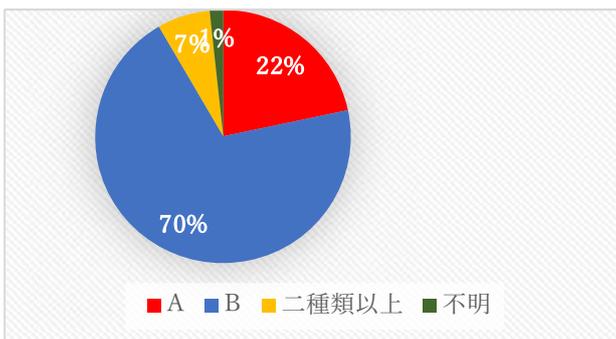
この違いは、言語の種類(アルファベット、漢字、など)によって生じているという仮説を立てた。



3 実験方法

1音につき1文字型→A、1音1単語型→Bと定義する。世界史の教科書に載っていた60言語について、それぞれの国の国歌の楽譜と照合し、AとBを分類する。

4 実験結果



60個の言語のうち

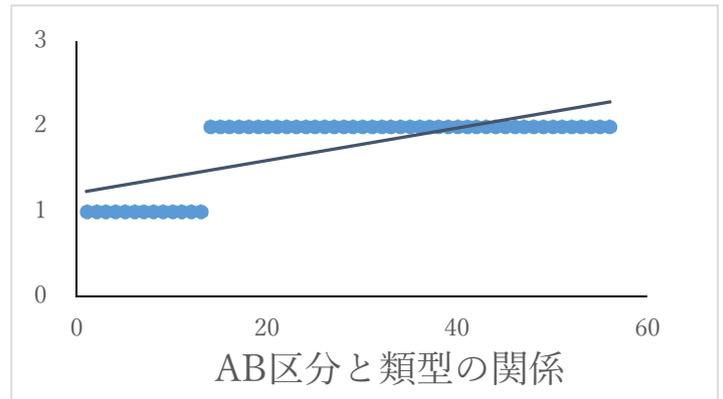
A・・・13個

B・・・42個

使用文字が数種類・・・4個

不明・・・1個

→ほとんどが1音1音節型で、日本語のように1音1文字型はあまり多くない



Aの類型は漢字、アブギダ、アブジャド、表音文字(=1)

Bの類型はすべてアルファベット(=2)

つまりAB区分と類型の区分が一致したということ。

→仮説は正しかったと言える！

5 考察

ABの分類と、文字の類型の関係が一致したことから、AとBの違いは、「文字の類型」によるものであるということがわかった。

1音符に1文字⇔漢字・アブギダ・アブジャド・表音文字(ハングルなど)

1音符に1音節⇔アルファベット

よって、楽譜から、「文字の類型」を推測することが出来る

6 今後の展望

言語学習に生かせるような実用的な研究を目指して、音楽と言語のつながりをもっと見つけていきたい。今回は歌詞はめについてという側面で研究したが、今後は音階や伝統など他の側面から言語と音楽を捉えていきたい。

7 参考文献

世界史詳覧

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E6%96%87%E5%AD%97>

7

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E8%AA%9E%E6%97%8F>

F

生まれたてのカイコの幼虫の光走性とその遺伝

前橋女子高校2年 小田橋 佳奈

【研究目的】

カイコとクワコ（カイコの原種）の光走性の違いを明らかにし、光走性を軸としてカイコの性質を調べる。

【予備実験】

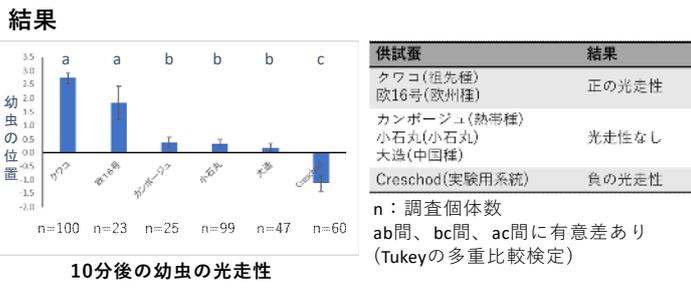
目的：クワコの光走性の確認・クワコと比較するカイコ品種の選定
仮説：クワコはカイコよりも正の光走性を強く示す。

供試蚕
小石丸（日本種）
大造(p50T)（中国種）
欧16号（欧州種）
カンボージュ（熱帯種）
Creschod（実験用系統）
クワコ（Bombyx mandarina）

実験装置
ハロゲンランプ
アクリル板の箱
黒画用紙
実験環境
25~30℃、湿度56~68%の暗室内

カイコ

孵化直後の幼虫5頭を0地点に置き、暗室内で光を5の方向から照射した。10分後、移動した地点を記録して、光走性を調査した。

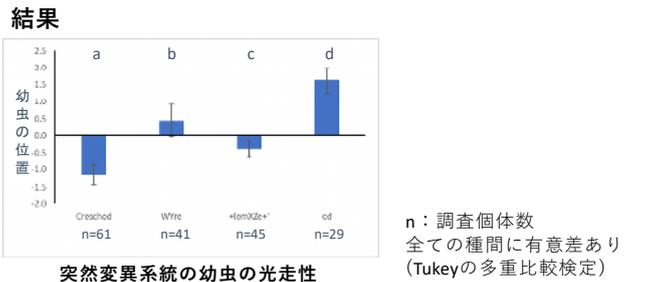


疑問
Creschodは何が原因で負の光走性を示すようになったか。(本実験1)
負の光走性は桑の認識に関わっているのか。(本実験2)

【本実験1】 Creschodが負の光走性を示す原因を探る

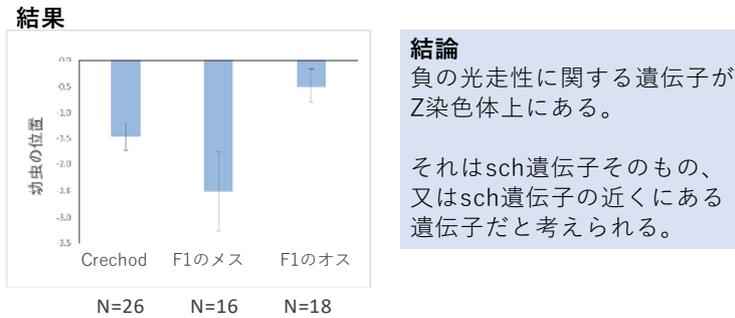
Creschodってどんなカイコ？
・突然変異を持つ
赤卵（赤色の脳）：re遺伝子⇒色素合成の異常
幼虫のカラダが透明：od遺伝子⇒尿酸代謝異常（油蚕）
生まれたての幼虫が赤い：sch遺伝子

材料・方法
予備実験と同様の実験方法で行った。
供試蚕
Wyre 赤卵（赤色の脳）：re、尿酸代謝正常
+lemXZe+ 淡赤眼白卵（ピンク色の脳）：pe、尿酸代謝異常：od
od 正常な色素合成、尿酸代謝異常：od



結論
Creschodの色素合成や尿酸代謝異常の突然変異遺伝子（re,od）は負の光走性に関係していない。

・sch遺伝子（伴性遺伝）
もしsch遺伝子が負の光走性に関わっていたら、F1のメスだけが負の光走性を示すと考えられる。



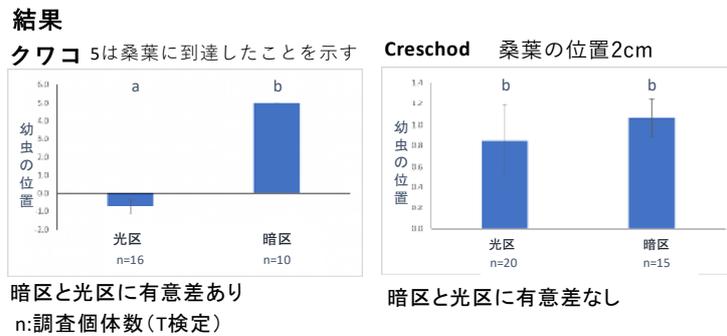
【本実験2】

目的：Creschodとクワコの桑の認識と光の関係を調べる。
仮説：Creschodは光が無いほうが桑によくたどりつくのではない。
材料・方法

Creschod（負の光走性）
クワコ（正の光走性）

桑から5cm離れたところにクワコ5頭を置いた。
光を桑の方向から照射した時と、光無しの時の移動距離を比較した。（10分間実験）

* Creschodは明らかにクワコよりも動きが鈍かったので、桑から2cm離れたところをスタート地点にした。



結論
クワコは光が無いと桑に向かわない。
Creschodは桑認識に光を必要としない。
正の光走性を示さなくても、桑に向かう。（正の化学走性）
Creschodは桑を認識するときに負の光走性を示さない。



今後の展望
今回、孵化直後の光走性を調査したが、今後は、幼虫の発育とともに光走性が変化するのか、調査したい。

謝辞
本研究は東京農工大学大学院蚕学研究室の横山岳先生にご指導いただき、供試蚕は横山先生、群馬県蚕糸技術センターから供与していただきました。

参考文献
・カイコの走光性行動に関する研究 I 蠶蚕の走光性の適応的意味
・家蚕卵の孵化に及ぼす光条件の影響 II 明暗のリズム孵化型
・カイコ幼虫期の走光性に関する系統間差異について

固まらないレモン牛乳をつくるには？

理科部 2年 河内 和那

1 【研究の動機】

牛乳にレモンと蜂蜜を入れたものを温めたら分離し、固まってしまい、飲むことができず、調べてみると酸凝固が原因だとわかったが、それ自体を防ぐことが難しかったのでまずは固まるのを防ぐことにした。

2 【仮説】

牛乳に大豆多糖類をいれることで、固まらないように出来る。

種類別名称	乳飲料
商品名	関東・栃木レモン
無脂乳固形分	4.3%
乳脂肪分	0.9%
無脂脱脂牛乳、生乳(50%未満)、砂糖、ぶどう糖、着色料(紅糖・紅花黄)、香料	

某レモン牛乳の成分表示

《理由》

今のカルピスは口に白い物が残らず、調べたところ大豆多糖類を入れていると聞いた。さらに調べたところ、いずれの多糖類も乳酸発酵の酸性条件下では負電荷を帯びており、酸性下で正に帯電した乳蛋白質の表面に電氣的に吸着し、乳蛋白質粒子の表面全体を覆うことで負に帯電させ、電荷の反発によって蛋白質の凝集を抑制していると考えられている。また多糖類自身が飲料に粘度を与えることで沈殿も抑制している。大豆多糖類の場合、酸性条件下で正に帯電した乳蛋白質の表面に電氣的に吸着し、蛋白質表面を覆う水溶性大豆多糖類の糖鎖の立体障害により、蛋白質粒子どうしの会合を抑え、長期に渡って分散状態を維持すると考えられている。ということが分かった。このことから大豆多糖類をいれることでレモン牛乳を固まらないようにできると考えた。

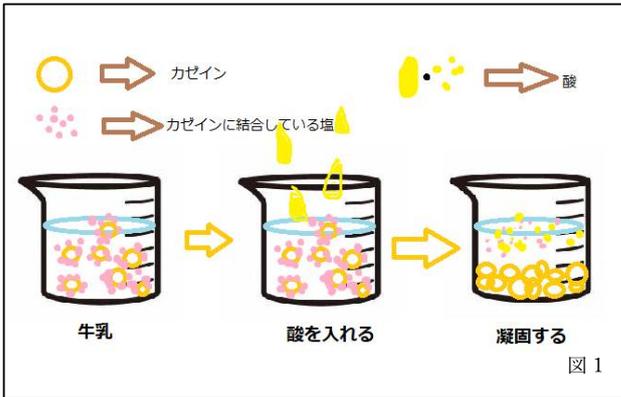


図1

酸凝固とは (図1)

3 【予備実験1】

《実験方法》

寒天を牛乳 200ml に 15g 入れて溶かし、その溶液を牛乳と 1:1 でまぜ、デンプンをいれて熱したものと同時に熱したものを用意し、一週間放置した。

《結果》

デンプンを入れたものは1週間後でも沈殿せずにいた。

4 【今後の展望】

《予備実験2 (実験計画案)》

おからを高温高圧下におき、大豆多糖類を抽出する。どのような温度や圧にすればいいのかが調べた限りではわからなかったため、自分でできる範囲内で色々な条件で実験し、乳化などを試みて、本当に抽出できているのかどうかを調べてみたいと思っている。

《本実験 (実験計画案)》

牛乳にレモンをいれ、大豆多糖類をいれ、沈殿を防ぐことができるのかどうか、また、様々な温度条件下でどのように変化するのかを調べる。

5 【参考資料】

牛乳凝固の化学 -とくにレンニンによる凝固機構を中心として- 山内 邦男

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

水溶性大豆多糖類の詳細

https://www.fujioil.co.jp/healthy_soy/polysaccharides/04/index.html

サドルの高さとペダルに加わる力の関係

SS探究2年 島崎ねね香 渡邊藍莉

* 変更した実験装置

1. 序論

(1) 目的

自転車をこぐ際の負担を少しでも減らしたいと思ったから

(2) 仮説

足の長さによって適当なサドルの高さが異なる

2. 予備実験方法

(1) 足の長さ（大転子からくるぶし）を測定する

(2) 図1の実験装置に座り体重計に力を加える

(3) 2 cmごとに高さを変えながら②を繰り返す

(4) 足の裏全体が体重計に届かなくなったら測定終了

(5) 記録をもとにグラフを作成する

☆足の長さを階級ごとに分ける

①75~77 ②78~80 ③81~83

④84~86 ⑤87~89 ⑥90~92

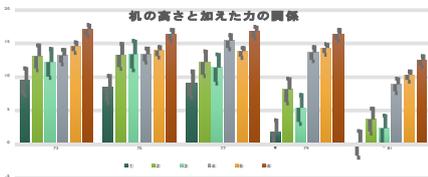
※各階級 10 人を調査



3. 予備実験結果

グラフ①：机の高さと加えた力の関係

(横軸の番号は 2. ☆ 参照)



5. 本実験方法

※実験装置の変更

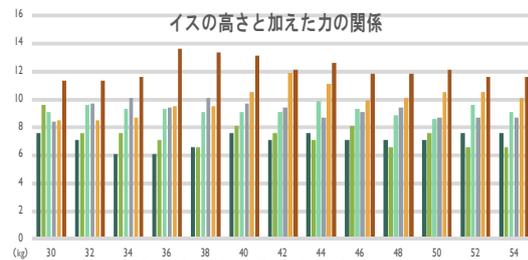
変更点：サドルに見立てた机⇒サドルに見立てたイス

サドルの高さを下げて計測することで、より自転車で力が加わりやすいと言われている高さを測定できるようにした



実験方法は高さ以外予備実験方法と同じで行う！

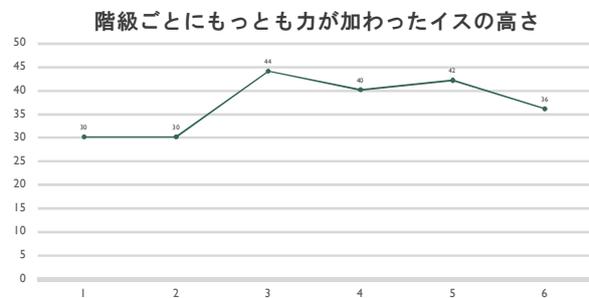
6. 本実験結果



7. 本実験の考察

グラフ②グラフ③より

予備実験と比較して、①~⑥の階級で力の大きさの変化が小さくなった



1. より力が加わりやすい範囲があったこと
2. 予備実験のため被験者が少なかったことが考えられる

8. 今後の展望

- ・ 予備実験を本実験とし、被験者を増やし計測する
- ・ 実験1、2をふまえ、階級ごとに最も適したサドルの高さを提示する

自然由来の洗剤を作る～大豆の煮汁に着目して～

前橋女子高校 SS 探求 2年 佐藤 朋実 佐藤 佳実

1. 序論

サポニンとレシチン・・・自然由来の界面活性剤。野菜などに含まれる。

サポニンやレシチンを多く含む物

- ・大豆の煮汁・米のとぎ汁
- ・大根、ごぼうの茹で汁

廃棄

勿体無い

洗剤として利用

1. ゴミの削減
2. 環境汚染の軽減

*今回は大豆の煮汁に注目した。しかし、大豆の煮汁をそのまま使った場合、洗浄効果が非常に低いことがわかっている。

〈浸す前〉



〈浸した後〉



目的: 大豆の煮汁の洗浄効果を高める。

2. 実験

仮説 I: 大豆の煮汁の温度を変えれば洗浄効果が高まる

【実験①】 温度による洗浄効果の違いを調べた。

▼方法 水、大豆の煮汁、合成洗剤（規定濃度）をそれぞれ 10℃～90℃まで 10℃ずつ温度を変化させて洗浄効果を確認した。（各 9 回）



洗浄効果は、溶液に入れる前と後の「彩度」の変化をカラーリーダーで読み取り、数値化した。

▼結果 溶液に入れたあとの油付き布の色は以下の通り。

【実験後の布色（カラーリーダーの値を基に再現）】

	10～20℃	50～60℃	80～90℃
水	①	②	③
大豆の煮汁	①	②	③
合成洗剤	①	②	③

水と各溶液の実験後の油の彩度を t 検定すると、①、②、③に有意差が認められ、有意差の大きい順に①、②、③となった。

【実験②】 各温度で洗浄作用

（浸透作用・分散作用・再付着防止作用）を調べた。

【各溶液各温度の洗浄作用の様子】

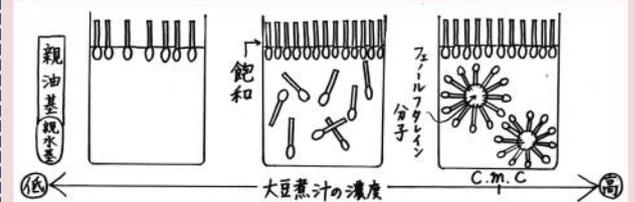
	温度	浸透作用	分散作用	再付着防止作用
水	10℃	×	×	×
	50℃	○	×	×
	80℃	○	×	×
大豆の煮汁	10℃	△	△	×
	50℃	○	△	×
	80℃	○	△	○
合成洗剤	10℃	○	△	×
	50℃	×	×	×
	80℃	×	△	○

考察 I 大豆の煮汁は温度をあげると再付着防止作用が盛んになることで洗浄効果が高まると考えられる。

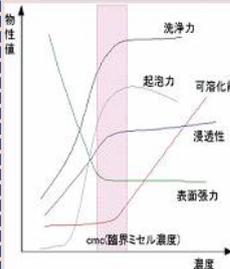
仮説 II: 濃度を変えて臨界ミセル濃度（cmc 濃度）に達した時、最も洗浄効果が高まる。

● 臨界ミセル濃度とは？

→ 汚れを取り込む構造であるミセルが形成され始める濃度



● 臨界ミセル濃度における界面活性剤溶液の特徴



→ 臨界ミセル濃度で洗浄力は最大となり、以降は変わらない。

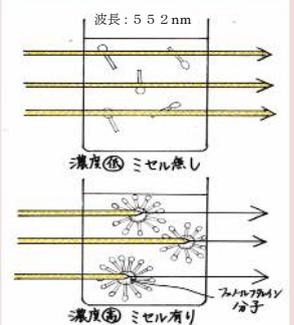
臨界ミセル濃度になれば、洗剤を無駄にせず最大限の洗浄力を発揮することができる。

【界面活性剤溶液の濃度変化による各値の変化】

▼方法（上図の可溶化能に着目

大豆の煮汁ごとに、水に難溶な物質の可溶化能を測る

今回は、水に難溶な物質としフェノールフタレイン（PP）を用いた。各濃度の大豆の煮汁での PP 飽和水溶液に PP の吸収波長（552nm）の光を照射し、その吸光度から溶けているフェノールフタレインの量を調べる



【PP 可溶化による吸光度の変化】



【分光光度計の様子】

3. 今後の展望

- ・上記の実験を完了させ、臨界ミセル濃度を求める。
- ・求めた臨界ミセル濃度で洗浄力をみる。
- ・実用性を考慮し最適な煮汁の使用方法を確立する。（中性塩を加えて cmc 濃度を下げ、薄い濃度でも cmc 濃度に達するようにする。など）

4. 参考文献

- ・「大豆の煮汁の有効利用」1997 ・啓林館出版「化学」「化学総合資料
- ・acbio2.acbo.u-fukui.ac.jp/phy(物理化学実験④表面張力の測定) ・Resemon 洗剤が汚れを落とすメカニズムを知る 2018 ・http://takahara.ifoc.kyusyu-u.ac.jp/ 講義資料 ・gakusyu.shizuoka-c.ed.jp/science/ronnbunshu/113051.pdf
- ・www.pref.kyoto.jp/hashidate-model/documents/1226986315100.pdf ・日本食品科学工学会誌第59巻第8号 ・日本石鹸工業会石鹸洗剤知識洗濯

水筒内のお茶を安全に飲む方法

SS探究 2年 天田美春

1. 序論

一日中持ち歩き、何回も口をつけている水筒やペットボトルの中のお茶には、唾液の逆流により菌が存在しているのではないかと考えた。容器内の温度を低温に保つことで菌の繁殖を抑えることができるという仮説を立てた。

2. 予備実験1

(1)お茶を入れた水筒とペットボトルを用意し、中のお茶を一口飲み、放置する。

(2)培地にお茶をまいてから一日後、コロニーの数を数える。

<結果>

	12時間	24時間
水筒	カウント不可	カウント不可
ペットボトル	248	225

(20°C、150ml)

・放置した時間とコロニーの数に関連性はみられなかった。(図1)

・水筒についてはカウントが出来ないほど多くのコロニーが出たため、容器内が十分に殺菌されていないと考えられる。



市販の未開封のペットボトルを用意し、同様の操作を行った。結果、コロニーは発生しなかった。(図2)



図1 予備実験1の結果



図2 予備実験2の結果

3. 本実験

<検証1>

(1)水筒内を熱湯消毒し、これを初期状態とする。

(2)中のお茶を一口飲み、放置する。

(3)培地にお茶をまいてから1日後、コロニーの数の増減を調べる。

4. 検証結果

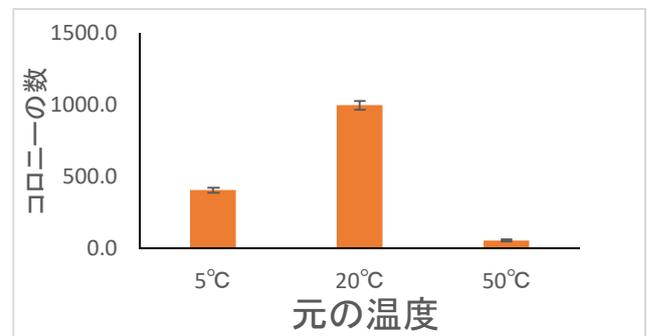


図3 元の温度とコロニー数との関係(n=18)

5. 本実験考察

・20°Cを基準として、5°C、50°Cともにコロニーの発生数が減少している(図3)→温度によるコロニーの発生数の違いに有意差は見られるが、それらにどのような関連性があるかははっきりしない。

・50°Cの時のコロニーの発生数が5°C、20°Cと比べて少ない(図3)→大腸菌の活性が抑えられた

6. 今後の展望

・ペットボトルでの実験を行い、水筒との比較をする。

7. 参考文献

http://www.ocha.tv/components_and_health/benefits_greentea/other_components/

http://www.jstage.jst.go.jp/article/jhej1951/33/12/33_12_666/_pdf

http://www.jstage.jst.go.jp/article/jisdh/27/1/27_66/_pdf

スマホのぼうしはブロッケン現象か

SS 探究 2 年 廣田奈央 飯塚凜穂 猪野文音

1 序論

スマホのぼうしとはスマホの懐中電

灯モードをスクリーンに照らしたときに
見られた現象

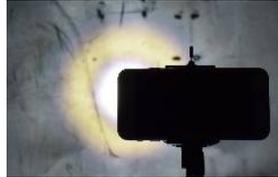
ブロッケン現象は、ミー散乱の後方散
乱によって見られる大気光学現象。

※ミー散乱とは光の波長と同じくらい
の大きさの粒子による光の散乱のこと。

先輩の実験から分かったこと

共通点 虹色の輪が見えること

相違点 光源の位置、輪の見える位置



2 実験方法

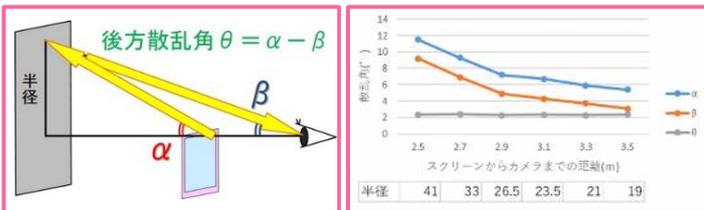
使ったもの

・スマホ (iPhone7) ・ブロッケンビーズ (チタン酸バリウム系ガラス
球径 0.06mm) ・スクリーン ・カメラ

① 後方散乱角を求める

仮説 半径が変化しても散乱角は変化しない。

* 輪の中心から 2 個目の紫の輪までの長さを半径とする。



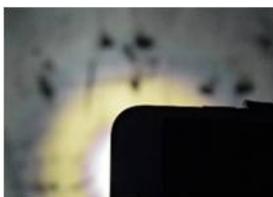
* 先輩の実験を確かめるために 1 回行った

② ピントを変える

スクリーンとスマホそれぞれにピントを合わせて撮影する。

仮説 スクリーンにピントが合えばいい。

スマホ	スクリーン
1.4m 光の輪がぼやけてる, うすい	光の輪はきれい
1.6m ぼやけてる	光の輪はきれい
1.8m ぼやけてる	光の輪はきれい (色が薄くなってきた)
2.0m 色が薄くぼやけているか どうかわからない	色が薄くてよくわからない
2.2m うすく, ぼやける	うすい, 少ししか見えない
2.4m うすい, 色がよくわからない 白っぽい	うすい, 色がよくわからない



↑スマホにピント

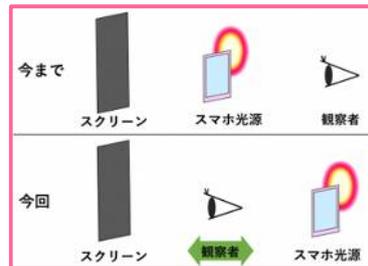


↑スクリーンにピント

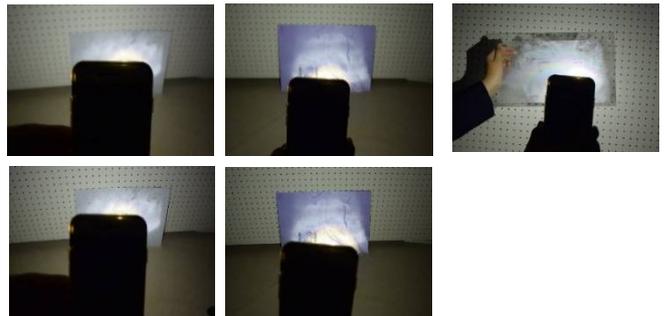
③ 観察者の位置を変える

実際のブロッケン現象と同じ配置にして、観察者 (カメラ) の位置を
20cm ずつ離していった。

仮説 影の周りに光の輪が見える。

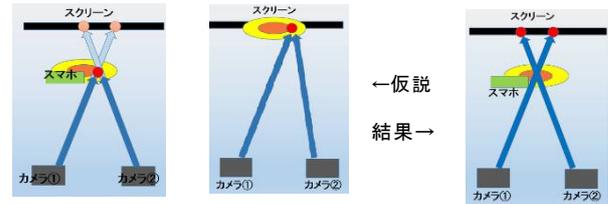


④ 背景の色を変える



⑤ 2つのカメラを両目に見立てる

仮説 もしスクリーンに光の輪があるのならば、スマホのぼうしにカ
メラを向けたときスクリーンの同じ位置に印がつくはずである



4 これからの展望

- ・なぜ目の錯覚が起こるのかを考えていきたい
- ・実験結果を、客観的に示せるようにしたい
- ・天候の変化には雲の影響が大きい。ミー散乱などの仕組みを利用し、気候変動の予測に役立てようとしている研究がある。限られた条件下でしか起こらないブロッケン現象を再現できるスマホのぼうしを利用して、簡単に天気を予測できるものを作りたい。

参考文献

- ・SCIENTIFIC AMERICAN glory (nussenzweig2012)
- ・NASA cloud fraction
(https://earthobservatory.nasa.gov/global-maps/MODAL2_M_CLD_FR)

洗面所にある固形石鹸は清潔なのか

2年 理科部 田中 夢乃

1. 研究の動機

出先で手を洗おうと洗面所に行くと、固形石鹸が設置されていることがある。私は毎回その石鹸を使う度、いつから置いてあるのか、私の前にどんな人が使ったのかなどを考えてしまう。そこで私は、固形石鹸がどの位清潔なのか、洗った手の清潔さにどのくらい影響するのかを調べたいと思った。

2. 仮説

固形石鹸の表面は、カビや菌が付着後繁殖しやすく、使い方によって手洗いに影響する。

【理由】 石鹸はカビや菌の栄養となるため、カビの胞子や菌が付着すれば、繁殖しやすいと考えたから。また、汚染された石鹸を使用後、濯ぎが足りないなどの場合、洗った手に石鹸の表面で繁殖したカビや菌が付着するのではないかと考えたから。

3. 予備実験

まず、薬用石鹸と薬用でない石鹸のカビの生えやすさの違いを調べた。

【方法】

ほぼ同じ大きさに切った石鹸(薬用でない/薬用)を2個ずつ用意する。用意した計4個の石鹸を、石鹸入れに入れ、風呂場に放置した。今回の予備実験では、未使用の状態と、表面が一度溶けた状態の石鹸における違いがあるのかも気になったため、片方の石鹸の表面を溶かした。5日間そのまま放置し、寒天培地でカビを培養した。

【使用した石鹸】

石鹸(薬用でない) : カウブランド 無添加せっけん
石鹸(薬用) : ミューズ 薬用せっけん

【結果】 カビは確認できなかった。

【原因】

カビはアルカリ性に弱い、又は石鹸を放置する期間が短いことが原因であると考えられた。そこで、予備実験で使用した石鹸1gを精製水3mlに溶かし、そのpHを測定した。(表1) このことから、今回の予備実験で使用した石鹸にはカビが生えにくいと考えられる。

【表1】

溶液	精製水	薬用でない	薬用
pH	6.8	11.0	10.8

4. 本実験

黒い筋のある石鹸を入手し、黒い筋がカビなのか調べた。

【作った寒天培地】

表面 2枚

横 2枚

横を溶かした 2枚

石鹸の黒い部分を削り取ったもの 1枚

【結果】 石鹸の横と横を溶かしてから押し当てた寒天培地では、カビは確認できなかった。

表面を押し当てた培地では、カビは生えたものの、押し当てた部分から離れたところにコロニーが形成されていたため、黒い筋がカビではない可能性が高いと考えられる。

削り取った石鹸をのせた培地を1週間程度放置しておいたところ、石鹸を中心にカビが生え始めた。



5. 今後の見通し

- ・本実験と同様の実験を再び行う。
- ・カビを直接石鹸の表面に付着させ、繁殖するかを調べる。

手を清潔にするには？

SS探究 2年 古澤彩楓 宮崎郁

1 序論

感染症予防のためには、手洗いが不可欠であると言われているが、果たしてそうなのか調べたいと思った。

そこで、私たちは手の洗い方に焦点を当てて実験を行うことにした。

2 仮説

- ・丁寧に手を洗うと、手の細菌は落とせる。
→大腸菌 ⇒実験①
- ・手を洗う工程の一部を除くと、洗い残しが出る。
⇒実験②

3 研究方法

実験①

- 1：厚生労働省のサイトにある、手の洗い方に従い、一つの工程あたり5秒かけて洗う。
 - 2：洗わない
- 上記1、2を寒天培地で手に付着している大腸菌を培養し、面積を計測する。

実験②：市販の手洗いチェッカーを用いる。

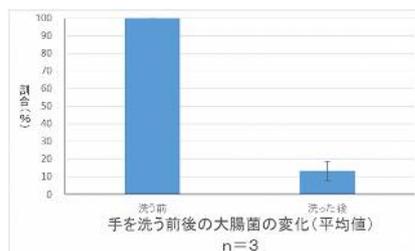
(手洗いチェッカーとは、ブラックライトを当てると光るクリームを手に塗り、手を洗うと洗い残した部分がわかるものである。)

- 1：手全体にクリームを塗る。
- 2：1つの行程を省いて手を洗う。
- 3：ブラックライトを当て、洗い残しのある部分を調べる。
- 4：全行程において、1～3を行う。

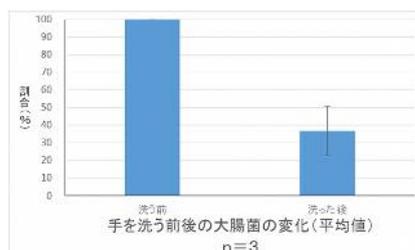
4 結果

実験①

手を洗う前の大腸菌の発生面積を100%として、手を洗う前後で大腸菌の発生する面積の変化を比較した。なお、実験を行った人物ごとにグラフを分けている(図1、2)。



(図1)



(図2)

(図1 **、図2 *) ($p < 0.05$)

手を洗う前に比べ、洗った後は大腸菌の繁殖面積に有意差が見られた。

実験②

厚生労働省のポスターの2(手の甲を洗う)、5(親指を洗う)



の行程について調べた。

(写真1) (写真2) (写真3)

写真2は行程2、写真3は行程5を省いたもの。写真の白くなっている部分が洗い残し。

2を省いた場合は手の甲に、5を省いた場合は親指全体に洗い残しがあった。

5 考察

実験①・今回用いた手順で手を洗えば、手に付着している大腸菌を減少させることが可能である。

実験②・親指以外の指は他の行程で手のひらや甲と同時に洗うことができるが、親指は洗えていない。親指単体で洗うことが必要である。

6 参考文献

厚生労働省手洗いポスター

<https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/kekkaku-kansenshou01/keihatu.html>

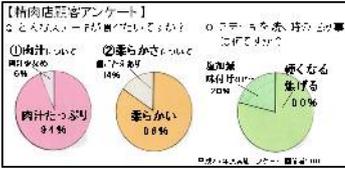
肉をおいしく感じる方法

うま味(umami)とテクスチャーを手がかりに ステーキの美味しさの秘密を探るPart4

群馬県立前橋女子高校 SS探究 2年 宮崎 陽奈



1. 序論 (動機と目的)



ステーキを美味しく食べるために、より美味しく感じることで、できるステーキを焼く方法を探る。

【これまでの実験から導き出したステーキの加熱調理の法則】

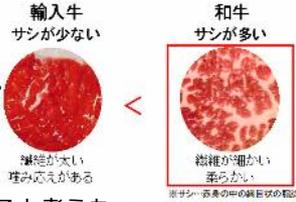


- 1 火加減 ⇒ 強火
- 2 加熱時間 ⇒ 表2分・裏2分
- 3 中心温度 ⇒ 65℃

2. 研究仮説

これまでの実験で、赤身肉より霜降り肉の方が肉汁が多く、柔らかいということが検証された。

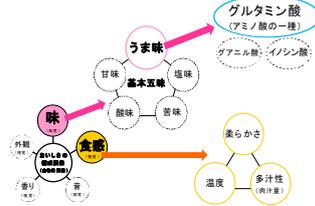
そこで、肉の味付けに使用する調味料に含まれるグルタミン酸との相乗効果によって、うま味を引き出し柔らかくすることができると考えた。



3. 研究目的

肉を加熱調理した時に美味しく感じるにはどんな方法があるのか。

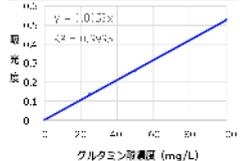
科学的根拠を元に肉のうま味を引き出し柔らかくする方法を検証する。



4. 実験

【予備実験 調味料のグルタミン酸濃度計測】

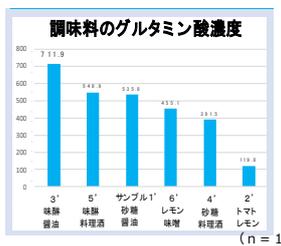
分光光度計による《グルタミン酸スタンダードカーブ》



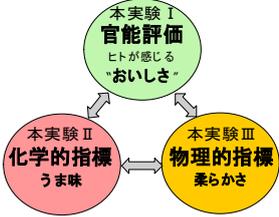
2種類の調味料を組合せた溶液のグルタミン酸濃度を分光光度計で計測し、値の高いものから6種類を選定。

- | | |
|------------|-----------|
| 1 '砂糖+醤油 | 4 '砂糖+料理酒 |
| 2 'トマト+レモン | 5 '味噌+料理酒 |
| 3 '味噌+醤油 | 6 'レモン+味噌 |

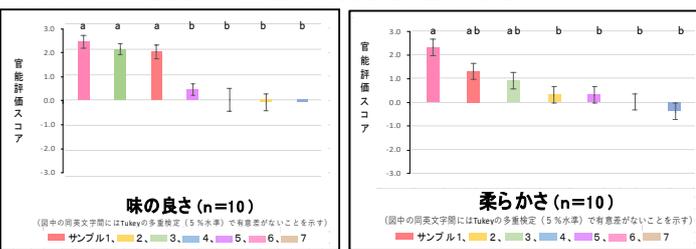
《調味料のグルタミン酸濃度計測結果》



【本実験】

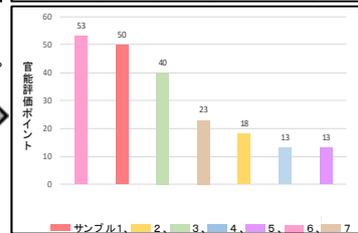


【本実験 I 官能評価—ヒトが感じる“おいしさ”】



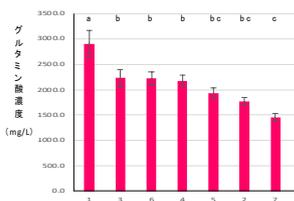
女子高生10人が官能評価に参加。味の良さ・柔らかさについて7段階で評価。

総合評価 (官能評価ポイント) ⇒ ヒトが感じるおいしさの傾向

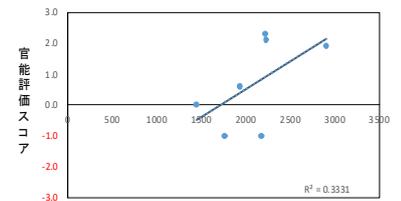


【本実験 II 化学的指標—うま味 (グルタミン酸濃度) の計測—】

《グルタミン酸濃度計測結果》



《本実験 I・本実験 II の相関関係》



加熱後の肉のグルタミン酸濃度 (n=9)

(図中の同英文字にはTukeyの多重検定 (5%水準) で有意差がないことを示す)

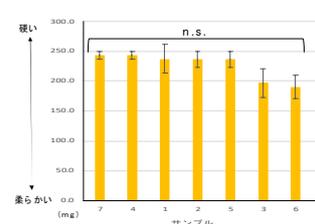
実測値 [グルタミン酸濃度] (n.s. (n=7))

官能評価 (本実験 I) とうま味 (本実験 II) の関係

- グルタミン酸濃度の高い調味料に漬けた肉は、大半がグルタミン酸濃度が高いステーキになった
→うま味の相乗効果が起こって、ステーキのグルタミン酸濃度が高くなった
- 官能評価とグルタミン酸濃度に相関関係は見られなかった
→官能評価値は二分した結果になっているため、データ数を増やす必要がある

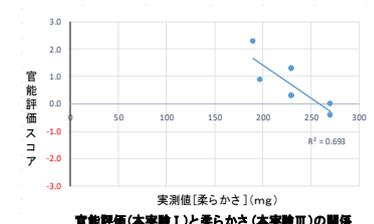
【本実験 III 物理的指標—柔らかさの計測—】

《柔らかさ計測結果》



加熱後の肉に加わる力 (n=3)

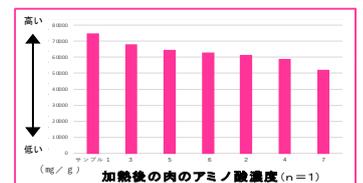
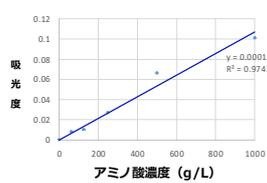
《本実験 I・本実験 III 相関関係》



官能評価 (本実験 I) と柔らかさ (本実験 III) の関係

- 調味料のグルタミン酸濃度と柔らかさにおいても相関関係がみられる部分もあった
→調味料のグルタミン酸濃度が柔らかさに及ぼす影響と原因を探る必要がある
- 官能評価については、実測値が低い (硬い) ものほど、二分の幅が多い
→硬いステーキに関して、感じ方は人によって異なりやすいが、柔らかいステーキに関しては特性を認識しやすい傾向にある

6. 今後の展望



- 試薬が高価であるため、十分な計測回数にいたらなかった、アミノ酸濃度の計測方法を検討する (高価な試薬を使わずとも計測できる方法を考える)。
- アミノ酸と、アミノ酸濃度内のグルタミン酸濃度を比べることで肉のうま味成分の主成分を証明する。
- 肉類に含まれている核酸系うま味物質であるイノシン酸の電気泳動による計測を検討する。
- おいしさを構成する、化学的要因 (味と香り) と物理的要因 (食感) に基づき、加熱による化学反応 (アミノカルボニル反応) も含め、より確信的な方法を導き出す。

7. 参考文献

- 参考文献：
肉の科学 (沖谷純著)、おいしさをつくる熱の科学 (佐藤秀美)、調理科学×肉の事典 (エコール社)、食品の官能評価・鑑別演習 (青柳康夫)、おいしさを測る—食品官能検査の実践 (古川秀子)、引用レポート：
ステーキの美味しさの秘密を探る 1～焼き時間を比べてみよう～ (2014年 宮崎陽奈)
ステーキの美味しさの秘密を探る 2～柔らかさの違いを手がかりに～ (2015年 宮崎陽奈)
ステーキの美味しさの秘密を探る 3～調味料に漬けると肉はどう変化する?!～ (2016年 宮崎陽奈)
材料提供：株式会社 肉のたか荘

ヘアピンがずれにくい?! ~効率の良いピンの留め方~

S S 探究 2年 塩原百華 大塚愛未

1, 序論

普段何気なく使っているヘアピンだが、勉強をしていて鬱陶しく思うことも多いはずだ。そこでヘアピンのずれ落ちない使い方を実験によって突き止めてみようと考えた。

2, 実験計画

私達は、ずれる原因としてヘアピンの留め方が関係していると仮定した。これを実証するため、ヘアピンの留め方を変化させて実験を行うことにした。その際条件を固定するために予備実験を行う。

3, 予備実験

実験方法

手作りした器械(図1)を使用する。

条件設定

- ・首を動かさず角度：左右に50度ずつ
- ・動き：よこ揺れ(図2)
- ・ヘアピン：波あり玉なし(図3)
- ・ハンドルを回すテンポ：テンポ50(これは作成した器械での壊れない限界の条件)



図1 手作りした器械

図2 よこ揺れ

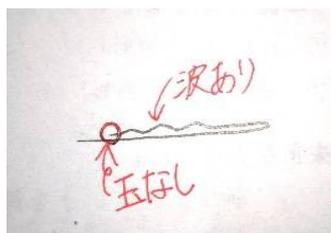


図3 波あり玉なしのヘアピン

計測方法

I 始めに取り付けたヘアピンの隅に白いペンで印を付け、(図4)、動きを加えた後の移動距離とする。

II 染まっている髪で、ヘアピンに入っていない量を計測する。(図5)これは、髪の毛自体が動いた量を調べるためである。

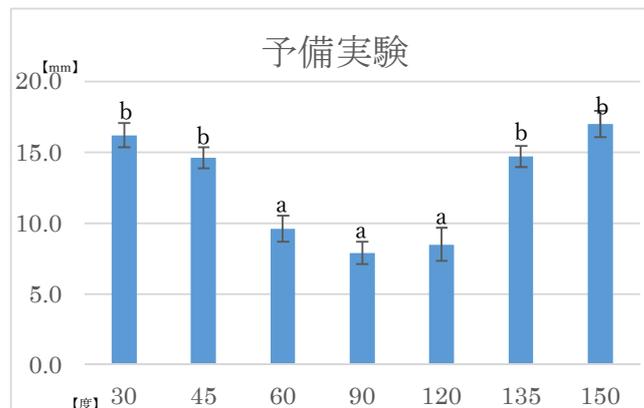


図4



図5

4, 予備実験の結果と考察

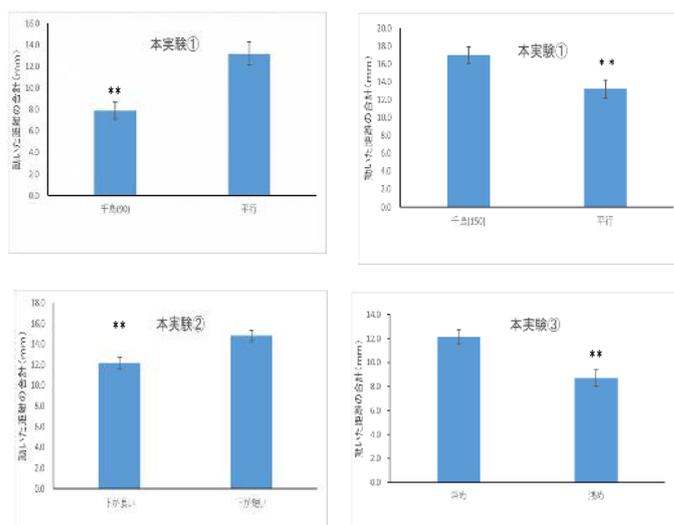


同じ英文字間には Tukey(5%)で有意差がないことを示す(n=10)
予備実験では千鳥留め内角の角度はどの角度が適切かについて調べた。上記の、本実験では、平均値が一番小さい90度と一番大きい150度の時のデータを用いることとする。

5, 本実験

- ① 千鳥留め(90度,150度)とヘアピン2本を平行に留める留め方との比較
- ② ヘアピンの長い側と短い側どちらが下なのか(どちらが地肌に近いほうがいいのか)
- ③ ヘアピンを留める際深く留める(髪との隙間を開けない)か浅く留める(髪との隙間4mmほど空ける)か

6, 本実験の結果と考察



図中の**はt検定で1%の有意差がないことを示す。(n=10)

本実験①②③より、最も効率的な留め方は千鳥留め(ピン長い側を下に、浅めに)であると考えられる。ただしそれは、千鳥留めの角度が垂直に近い(60度~120度くらいの)時に限る。

リンゴ果実のエチレンによるバレイショの萌芽抑制

群馬県立前橋女子高等学校 2年 町山莉緒

導入 「リンゴと一緒に保存」 本当に萌芽抑制に有効？

・リンゴ = エチレン分泌量多
 ・バレイショ = エチレンで伸長抑制 & 萌芽開始遅
 (参考文献2,4,5より)
 理論上リンゴと保存でバレイショの長期保存が可能

しかし...
 リンゴとバレイショ
 実際に組み合わせて
 効果を検証する研究
 ほぼなし
 本当に効果があるのか？

研究目的

「リンゴと保存でバレイショの長期保存」の効果を検証 & 家庭でも再現可能に

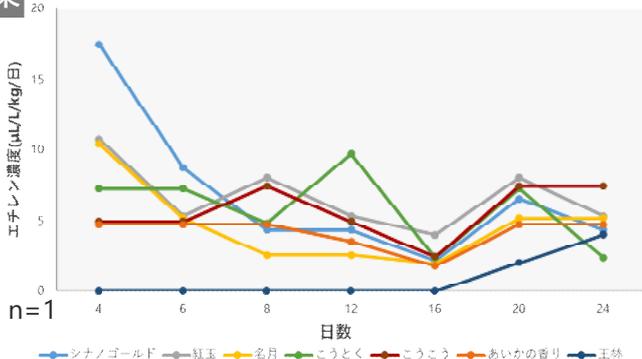
実験1 リンゴ全8種のエチレン分泌量測定

- ①リンゴ(こうとく, 王林, あいかの香り, ぐんま名月, 紅玉, こうこう, シナノ)を品種毎に3~4個ずつ箱に入れる※。
 - ②定期的にエチレン計測と箱内の換気を行う。
- ※ふじは別時期実施。異なる容器で1箱あたり10個。

[写真1]
 実験の様子。左から順にこうとく、王林、あいかの香り、ぐんま名月、紅玉、こうこう、シナノ。



結果



※ふじ(10個)は検知管で測定不可

【結果】

- ・ふじ / 王林...エチレン分泌量少
- ・シナノ / 紅玉...エチレン分泌量多

実験2 バレイショの芽に対するリンゴの伸長抑制効果の検証実験

使用品種: バレイショ=男爵 / リンゴ=ふじ, シナノ
 調査期間: ふじ 2019.12.27~2020.1.23 / シナノ 2020.1.8~

- ①a.b.それぞれの実験で各二区画を準備する(資料1参照)。
- ②エチレン計測(リンゴ有区)、箱の換気・入れ替え、観察、萌芽数の記録を定期的に行う。
- ③対応のあるt検定で二処理間の萌芽数を比較する。

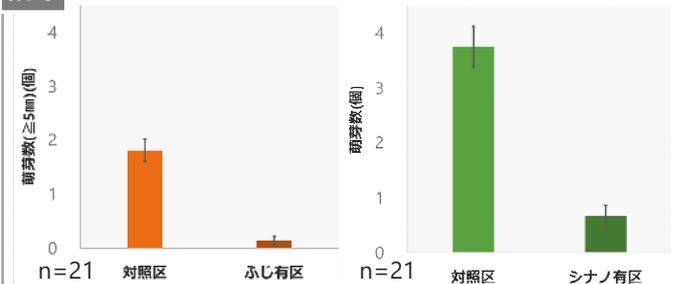
【仮説】

- a.対照区 = ふじ有区
- b.対照区 > シナノ有区

[写真2]
 19日目のふじ有区の様子。



結果



グラフ2. ふじ有区と対照区の萌芽数(≧5mm)の比較(19日目) グラフ3. シナノ有区と対照区の萌芽数の比較(15日目)



グラフ4. 対象区とふじ有区における萌芽数(≧5mm)の推移

【結果】

- ・対照区 > ふじ有区
- ・対照区 > シナノ有区
- ・萌芽日はほぼ同日
- ・ふじ/シナノ有区ともに25μL/L未満

まずは...

分泌量少のふじと多のシナノを目安にリンゴでの伸長抑制が可能か検証 → 実験2

考察

結果より、ふじ・シナノゴールドどちらも伸長抑制可能。

参考文献4の結果(塊茎当たりの萌芽数(≧5mm)は対照区 > エチレン処理区)と類似の結果。→バレイショはふじ・シナノと保存でエチレン存在下に置いた時と同様の伸長抑制効果あり。

展望

- ① 実験2をエチレン分泌量中のリンゴ他品種でも実施
 →他品種でも伸長抑制に有効なのか調べる
 - ② 実験2を内生休眠中のバレイショでも実施
 →内生休眠の打破を遅らせる効果についても検証
- データ集め → より確実な提言を

謝辞

研究を行うにあたり日頃お世話になっている岩佐先生、武先生、佐藤先生、越沢先輩を始めとする方々と、実験の犠牲となったリンゴとバレイショたち、その農家さん方に、心からの感謝を申し上げます。

参考文献:

1. 岩手県生産環境部保鮮流通技術研究室 (2006) 平成18年度試験研究成果書 りんごの輸出に対応する鮮度保持技術の効果
2. (学)酪農学園 (独)農業食品産業技術総合研究機構北海道農業研究センター(2012) エチレンを用いた加工用馬鈴しょの萌芽抑制による高品質貯蔵技術の開発
3. Goliáš, J., Mýlová, P., Němcová, A., (2008). A comparison of apple cultivars regarding ethylene production and physico-chemical changes during cold storage.
4. Prange, R., et al. (1998). Using Ethylene as a Sprout Control Agent in Stored 'Russet Burbank Potatoes'
5. Daniels-Lake, B., et al. (2005). Sprout Development and Processing Quality Changes in Potato Tubers Sprouted under Ethylene: 1. Effects of Ethylene Concentration

肩の負担を減らして重いリュックを背負うには？

～肩紐に着目して～

前橋女子高等学校 SS 探究 1年 井口沙穂 川島澄香

1, 序論

背景

登下校において、最低限の教材のみを入れたリュックでも、背負うと肩が痛くなったので、どのように背負えば、肩の負担を減らせるのか知りたいと考えた。

目的

肩の負担を最も減らせるリュックの背負い方を見つける。

仮説

①肩紐が横から見た胴体の中心と脇の下 10～15cm で交わると、肩の負担が減る。

[根拠]

先行研究より。

②肩紐と肩の密着面積は大きい方が良く、肩と同じくらいの面積だと負担が減る。

[根拠]

世間一般で肩紐と肩の密着面積が大きい方がよいとされている。

2, 検証計画

予備調査

I. 前女1年生の任意の2クラスにアンケートを取り、よく使われているリュックを特定する。

II. 前女生を無作為に10人程選択し、リュックの重量を計らせてもらい、平均化する。

III. 荷物を詰めたリュックをマネキンに背負わせて圧力測定センサー(図1)を肩に貼り付け、両肩にかかる負担に差異

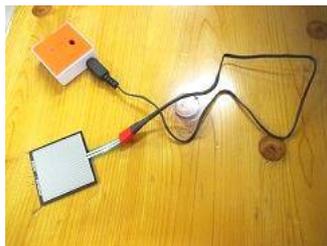


図1 圧力測定センサー

が見られるか確認する。

本実験①

肩にかかるリュックの圧力を負荷とする。

I. マネキンに圧力測定センサー(図1)を



貼り付け、アンケートで特定したリュックに平均化した重量の荷物を詰め、マネキンに背負わせる。

II. 肩紐の長さを1cmずつ変化させ、圧力を計測し、

最も負担の減る肩紐の長さを求める。この時、肩紐の長さは、**脇の下と横から見た胴体の中心と肩紐の交点との間の長さ**と定義する。(図2)

本実験②

実験の条件を揃えるために、本実験①で用いたマネキン、リュックを使用する。

I. 肩紐を本実験①の結果からわかる最も負担が減る長さに固定し、肩紐と肩の密着面積を増やしていく。

II. 肩との密着面積を求め、単位面積当たりの圧力を求める。

3, 今後の展望

今回は、誤差を小さくするためにマネキンを用いるが、個人によって体格差があるため、人間でも実験をする必要がある。また、リュックの種類や重量の違いによって、肩紐の長さ、密着面積の最適値が変化することが考えられるので、これらの条件を変えて実験を行う。

自然由来の界面活性剤をつくる

～米ぬかに含まれる成分に着目して～

SS 探究 1 年 加藤 陽華 久保田 実来

1. 序論

(1) 目的

市販の合成洗剤は、環境汚染などの問題を引き起こす原因となっている。そこで、江戸時代に石鹼や洗剤として用いられていた米ぬかに着目し、環境に害のない自然由来の界面活性剤を作ることができないかと考えた。

(2) 仮説

- ①米ぬかには界面活性作用がある。
→昔から洗剤として使われていたから。
- ②米ぬかは温度が高くなるほど、洗浄効果が上がる。
→市販の合成洗剤は、温度が高いほど汚れが良く落ちるから。

～予備実験～

材料: 水、合成洗剤、米ぬか
温度: 常温 (12℃)

～予備実験の結果～



図1 水するとき



図2 合成洗剤するとき



図3 米ぬかするとき



図4 米ぬか 洗剤 水

- ・水: 水面に油が浮いているのは確認できたが、ラー油の色はほとんど落ちなかった。(図1)
- ・合成洗剤: 布の汚れが最もよく落ちた。(図2)
- ・米ぬか: 汚れがほとんど落ちなかった。(図3)

2. 実験

表1 大豆と米ぬかの成分比較

	大豆	米ぬか
たんぱく質	33.8%	6.8%
サポニン	0.245%	

～用意するもの～



ラー油を垂らした布、水、衣類用洗剤 (規定濃度まで薄めたもの)、米ぬか (ガーゼでこして得られる搾り汁を使用) (図5)

図5

～実験方法～

1. ラー油で汚した布をそれぞれの液体が入ったビーカーに入れる
2. 約 10 分間そのままの状態置いておく
3. 布を取り出し、カラーリーダーを用いて彩度の変化を計測する

～条件～

- ・10℃～90℃まで、10℃ずつ温度を変化させる。
- ・フタが付いている発泡スチロールの箱に設定温度まで温めたビーカーを入れ、保温する
- ・温度計を用いてビーカー内の温度を測定しながら実験する
- ・米ぬかと水は、1:5とする

3. 参考文献

- ・「各種大豆中のサポニン成分の検索およびガスクロマトグラフィーによる大豆サポニンの定量」
(https://www.jstage.jst.go.jp/article/yakushi1947/104/2/104_2_162/_pdf)

自転車の前カゴに入れたお弁当を 崩さないように運ぶには



SS 探究 1年 樋口くるみ

1. 目的

自転車の前のカゴにお弁当を入れると、**揺れが起きて**動いてしまったり、飛び出してしまう
たりして崩れてしまう。

→お弁当を入れても飛び出なく、崩れないようにしよう！（図1）

2. 仮説

- 1: 荷物とカゴが接している面の摩擦をできるだけ大きくする
 - 2: カゴと荷物を切り離すようにする
 - 3: バネを荷物とカゴに間につける
- 以上のことをすれば、お弁当は崩れなくなる



図1 自転車の籠の中の弁当箱

3. 実験方法

- 1: 励振器を用いて縦揺れをつくりだす(図2)
- 2: 振動板の上に木の板(10mm程度)をつける
- 3: さらにその上に緩衝材を取り付け、弁当をのせる
- 4: 数分から数十分揺らし続けた後、のせる前と後の弁当を比較する

緩衝材は、天然ゴムと軟質クロロプレンゴムの

2つ(表1)と対照実験用の木の計3つを使う

木は、データは不明だが、伸びはほとんどないと思われる



図2 励振器

表1 材料の性質

	硬さ	引張強さ(MPa)	伸び(%)
天然ゴム	60	3.5	300
軟質クロロプレンゴム	45	4.8	450

4. 今後の展望

- この方法で実験ができるのか、実際の弁当箱を用いた実験で比較のできる結果がでるのかを、予備実験として検証する
- 緩衝材として、より身近な物質を選んで実験し、その結果を表1の材料と比較する

5. 参考文献

TNA ウェブサイト <https://www.menshin.biz/?q=menshin/node/4840>

相互作用をもたらす野菜の組み合わせに関する研究

～プランターでの野菜栽培に着目して～



SS 探究1年 小内 友梨香 矢田 梨々香

1. 序論

【研究目的】 家庭菜園で簡単にたくさん収穫できる野菜の組み合わせを知り、家庭でのプランター栽培を楽しく出来る方法を探ろうとしたから。

- 【仮説】
- ・野菜によって必要とする光の量や成長速度が異なる
→それぞれの特性に近いもの同士ではお互いの成長を妨げない
 - ・マメ科の根粒菌のように各科ごとに特徴がある
→各科ごとの特徴が他の野菜に影響を与える

2. 研究方法

【 予備実験 】

人参、葉ネギ、枝豆を使い、2種類を組み合わせたものと単体のものを人工気象器で育てどのように影響が出るのか実験した。

～人工気象器の条件～

温度:20℃ 光:なし

～実験方法～

- ・黒ポットの底にガーゼを敷き、土を入れる。
- ・種を2粒ずつまく。(図1)
- ・定期的に水やりをする。

～種子の組み合わせ～

- 人参×人参
- ネギ×ネギ
- 枝豆×枝豆
- ネギ×枝豆
- 人参×ネギ
- 人参×枝豆



図1 種子のまき方

3. 研究結果

光を当てなかったため、枝豆は伸びすぎてしまい、人参とネギはしおれてしまった。また、今回の実験では植物の組み合わせによる発育の違いは見られなかった。

実験の様子



人参×人参 枝豆×ネギ 枝豆×枝豆

4. 考察・今後の展望

人参、葉ネギ、枝豆全ての種が発芽したが、光を当てなかったため、葉ネギ・人参はしおれてしまい、枝豆は葉が出ないまま伸びすぎてしまった。また、光を十分に与えなかったため、どの植物も自立するだけの丈夫さを持っていなかったと考えられる。また、種まきの3週間後頃から土の表面にカビが生えてしまった。人工気象器という密閉された空間で、水をあげすぎてしまったことが原因と考えられる。

今回の予備実験から、『光を与えること』、『与える水の量を減らすこと』を考慮して、実験に望みたい。また、今回の実験方法では発芽する個体数が少なく、比較することが難しかったので、実験数を増やして行っていきたい。

5. 参考文献

コンパニオンプランツの組み合わせと効果

<https://ymmfarm.com/cultivation/basis/companionplants>

コンパニオンプランツの効果や野菜の種類

https://agri.mynavi.jp/2018_11_11_48723

園芸家を選ぶ！手軽なコンパニオンプランツ5選【家庭菜園向け】

https://agri.mynavi.jp/2017_12_26_15216

男性の顔の黄金比と声の揺らぎに関する研究

～前女生の心をつかむ値を突き止める～ 前橋女子高校 SS 探究 1年 元橋彩乃

1、研究目的

(1) 研究の動機

世の中には既に研究された黄金比や声の揺らぎが常識として知られている。しかし、趣味趣向が多様化する今、それも同様に変わっているのではないか。前女生の心をつかむ新しい黄金比、声の揺らぎを見出していきたい。

(2) 既成黄金比、声の揺らぎについて

既成黄金比

- ①目の幅が顔全体の五分之一、
生え際～眉頭：眉頭～鼻先：鼻先～顎先＝1:1:1
- ②目と口の距離が顔の長さの36%、
目と目の距離が顔の横幅の46%
- ③顔から耳までを一とした時、生え際のラインと顎の距離が1.618、唇と顎の間を一とした時、唇と目の中間線の距離が1.168

既成声の揺らぎ

- ①1/f 揺らぎ 周波数 f に反比例する揺らぎ

(3) 研究の仮説

なお、i～ivまでは既成の研究による仮説、vは事実による仮説である。

- i、黄金比①による顔が最も魅力を感じさせる。
- ii、黄金比②による顔が最も魅力を感じさせる。
- iii、黄金比③による顔が最も魅力を感じさせる。
- iv、1/f 揺らぎの声が最も魅力を感じさせる。

以上、(2)にあるように既に研究がされているので仮説どおりの結果が得られると十分に期待できる。

v、KPOP アーティストによる統計の顔、抽出された声が最も魅力を感じさせる。

昨今、中高生また前女生の間でKPOPアーティストが人気を博しているから。

2、予備実験

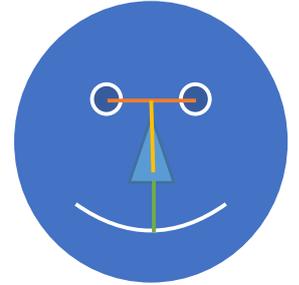
黄金比の研究について、予備実験を行った。

基準比を定めて、作成した既成黄金比のサンプルでその場所の距離を測定、三つの合計値における割合で比を示す。

* 基準比 *

- I、左右の目の中心同士の距離
- II、Iの線の中心と鼻の最も高い点の距離
- III、鼻の真下の中心と口の中心までの間の距離

- 基準比 I
- 基準比 II
- 基準比 III



測定結果は下の通りであった。

(各既成黄金比のサンプルは、別紙参照)

有効数字 3 桁 四捨五入あり	基準比 I	基準比 II	基準比 III
黄金比①	0.50	0.31	0.20
黄金比②	0.49	0.36	0.15
黄金比③	0.55	0.31	0.14

パーツは福山雅治を使用。なお、これは2015年に行われた、理想だと思ふ顔ランキングで1位を獲得し、2019年に行われたアンケートでも2位を獲得していたことからサンプル製作の基礎としてパーツを使うのに適していると判断したためである。もともとの顔の基準比はI、0.53 II、0.28 III、0.19であった。

3、本実験への見通し

黄金比

アーティスト 20 人の基準比を測り、四つ程度のグループに分け、グループごとにサンプルを作る。2で作成したものとあわせた7つのサンプルを用いて、前女生を対象にアンケートを行う。結果を基に基準比の値を調整し、票を集めやすい黄金比を追究する。

声の揺らぎ

黄金比と同様に、既成のものとしてアーティストから抽出したいくつかのサンプルを用いてアンケート形式で実験を行う。

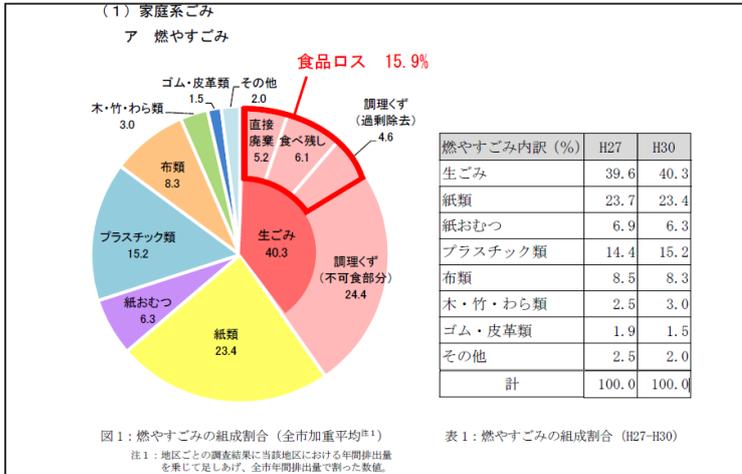
4、参考文献

「美人顔の黄金比とは」「美人の条件は 36/46 の美人黄金比にあった!」「防弾少年団 JIN が科学的にもイケメンだと証明され話題に」「理想の顔だと思ふ俳優ランキング2015版/2019版」「究極のもて声 1/f 揺らぎ」/インターネットより

茶殻をより短期間で堆肥化する方法に関する研究

SS 探求 1年 寺田明日美

序論



②ジップロックで密閉した①の茶殻、していない茶殻をそれぞれスターを用いて攪拌

湿った茶殻が固まってしまうスター回らず

→茶殻を乾燥させる必要あり

Ⅱ乾燥させた茶殻(②で用いたもの)を乾燥させ、スターで攪拌

→茶殻をすりつぶす必要あり

Ⅲ乾燥させた茶殻をすりつぶし、スターで攪拌

図1：日本の現状

日本では、日々大量の生ゴミが排出されている。

生ゴミは水分を多量に含む
→焼却するにはより多くのエネルギーが必要

生ゴミを堆肥にすることは有効
→長期間の放置が必要…手間

生ゴミの中の茶殻にのみ着目し、研究を進める。

仮説

茶殻に酸素を供給し続ければ、堆肥化が短期間で進む

根拠…空气中に存在する好気性細菌の呼吸によって無機物化(堆肥化)が進むから

予備実験

①茶殻をジップロックで密閉し、酸素が供給されない状況を作る

→白い胞子のようなものが発生、茶色く変色

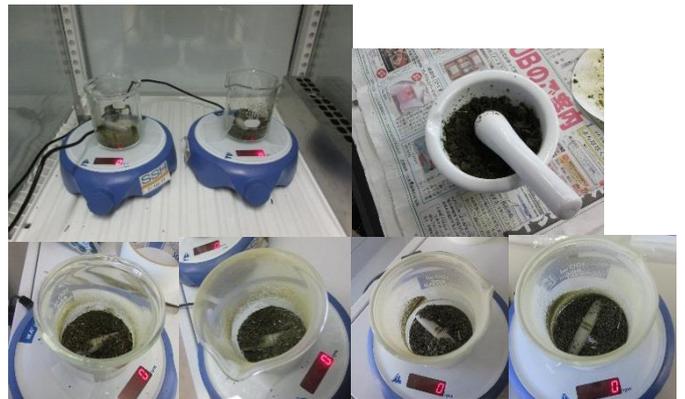
…腐敗し、カビが生えたと思われる

腐敗したかどうか

カビかどうか

判定方法の検討

↓現在観察中



今後の展望

良質堆きゅう肥共励会の審査基準を基にした判定基準の検討

実験回数を重ねる→適切な実験条件の検討

酸素を供給し続けるもの

比較

空気に触れさせないもの

→堆肥化促進

条件を追求

出典；平成30年度ごみ・資源組成調査結果について - Niigata



中学生でも作れるキンギョの透明標本の作製方法

SS 探究 1年 王 佳妮

1. 序論 (背景)

以前から透明標本に興味を持っていて、作ろうと試みたが、材料の入手が難しく、作ることが叶わなかったため、より簡単に作る方法はないか知りたいと思ったため。

(仮説)

① 強い薬品を使い、作業時間を短くすることで、簡単になる(作業時間が短縮されるため)

② 安全性の高い薬品を駆使して作ると簡単に作れる(薬品の扱いが簡単になるため)

2. 予備実験

従来の方法をつかい、一通りのやり方の検証をしようとしたが、いくつかの薬品の入手が困難だったため、富士フィルムから販売されているキットで、キンギョを用いて検証することにした。



① 冷凍したキンギョを解凍し、**固定液 B**と**固定液 A (4%ホルマリン)**を同量まぜた**固定液**の中に入れて、ビンに入れて一晩放置する。

② **脱ホルムアルデヒド**に30分つける。その後、うろこをはがし、**染色剤溶解液 100ml**と**染色剤 50mg**を混ぜ、その後**脱色液**に入れ、37°Cに設定した恒温器に入れて、一晩放置する。



③ 残りのうろこをはがし、**置換液**に1時間置く。(15分おきにピーカーを揺らす)

その後**保存液**にいれ、瓶づめし完成。



3. 結果と課題

- ・ドラフトを使用しなければならない薬品がある。
- ドラフトを使用しない薬品に置きかえられないか
- ・薬品に浸す時間がかかる。
- 時間を短縮できないか、又は省いてもよい手順はあるか

4. 本実験 (研究計画)

予備実験から得たことより、以下の実験計画をたてた。

① アリザリンレッドに代わる代用品を探す

<サフラニン、食紅など>



染色以外は、予備実験で使用した薬品を使用する。

② 固定液の代用品を探す

<アルコールなど>

染色は①で染色できると判明した薬品を使用し、脱色液のみ予備実験で使用した薬品を使う。

③ 脱色液の代用品を探す

<アルカリ性洗剤、入れ歯用洗剤>

①、②で使用した薬品を使い、より作業時間の短縮と安全性の高いものを探す。



※置換液及び**保存液**は入手が簡単なので、予備実験で使用した**グリセリン**を使用する。



参考文献

- ・ゆめいろ骨格堂
- ・「新世界」透明標本 富田 伊織作