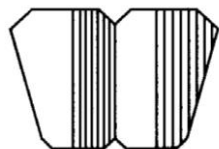


平成 29 年度指定 スーパーサイエンスハイスクール

令和 3 年度

研究活動報告集

第 5 年次



令和 4 年 3 月

京都府立洛北高等学校

目次

課題探究Ⅱ（高校2年）

【化学】

フェーリング反応で黄色沈殿を生成する条件	1
高木優月・前川万貴子・松田理歩	
アントシアニンの色の变化 ～イオンごとのアントシアニンの構造～	5
笹田優衣・横山紗良	
白い炎を作る！？ ～金属塩の混合による炎色反応～	8
今吉嶺太・田籠心太朗・田中優佑・森下龍琉	
ポリフェノールによる紫外線防御効果 ～紫外線吸収剤どうしを混ぜ合わせることに伴う変化～	13
藤森幹人・山下将来・山田翁輔	
野菜製フィルムの生成と強度に関する研究	17
瀬川七海・田中杏佳・中馬千陽・久森優心	

【生物】

ヤセウツボ <i>Orobancha minor</i> の発芽・成長条件の研究	22
田村亜紀・中原英莉香・村井祥真・山本理	
ニンジンジュースとキニンゲン硫酸によるナメクジの記憶実験	27
伊串洛奈・井上綾・加来陽香	
真正粘菌の記憶の優先度 ～温度と湿度どちらが大切？～	30
伊原嵩豊・北村優真	
ゼブラフィッシュの空間認識能力	34
小田垣洋輝・楠本啓悟・谷典馬・根来修	
カタバミとシロツメクサ, 生命力の差とは？ ～植生や生育環境の違いから考える～	38
尾場海輝・河井康介・辻光平	
カビの育て方 ～pH 変化によるカビの増殖量の変化～	42
上林千織・西郷玲奈・布目瑞穂・細野沙樹子	
ストレスを与えられたクローバーは四つ葉になるのか	46
阿部花佳・田中心晴・中西千紘・西村優里	

【環境】

理想のフードデリバリー会社を作ろう	49
保野萌・淀谷日菜	

高野川水系の生物相の把握及び, ブルーギルの生息域調査	53
	安達京右・中野開・吉田夏
マスク内湿度の観点における肌荒れ ～肌の保湿に適したマスク開発に向けて～	58
	太田朱香・富岡彩実
どんな家がベスト?? ～“省エネ住宅”を身近にするパズル教材製作～	62
	成田愛実・松原葵
めざせ! 食堂のフードロスゼロ! ～食べ残しを減らすために～	68
	白澤里砂・西彩希子・林真由
声の形 ～アンケート及び音解析実験を用いた印象調査～	72
	久米駿佑・池田樹紋・白井悠登

【物理地学】

既存のテーピングに挑む! ～テーピングの巻き方が足首の内反制限に及ぼす影響～	76
	石田郷・西山常葉・三崎結衣
ドミノ倒しの多角的考察 ～実験と計算のアプローチ～	80
	石倉燦旭・佐藤幹栄・田中悠飛・藤井誠・若野健真
モルタルの強度に違いをもたらす原因 ～隙間の多さによる実験～	86
	岡田実大・田中義己・見島礼萌・牧野琳太郎
2種類の塗料を用いた開放系での Viscous Fingering の研究	90
	曾根悠汰・浜辺陽翔・松尾明日貴・山口惇

【数学】

けが人を混在させた拡張フロアフィールドモデルの有用性の検証	95
	村松一仁・神戸春哉
自然数長の長方形を小長方形に分割する場合の数	99
	黒川啓太
日本の定理による五角形の分類	104
	辻本陽一・花田彩

サイエンス部

楕円運動における落下時間と走行距離の関係	107
	益川慶之・リビー乃亜

フェーリング反応で黄色沈殿を生成する条件

高木優月 前川万貴子 松田理歩

要旨

フェーリング液の還元反応(反応式 $R-CHO+2Cu^{2+}+5OH^{-}\rightarrow R-COO^{-}+3H_2O+Cu_2O$, 以下, フェーリング反応)において黄色沈殿ができる条件を調べた. 反応速度に着目し, 反応温度, 反応時間, 混合液の水酸化ナトリウム濃度を変化させてフェーリング反応を起こし, 沈殿の色を観察した. その結果, pH 11.0, 30°C で 5 分間, および, 35°C で 3 分間フェーリング反応を起こしたとき黄色沈殿が得られた.

1. はじめに

フェーリング液とブドウ糖の反応で生じる沈殿は, 赤褐~黄色にわたるさまざまな色があることが知られている. 混合液の pH が 12 以上では赤色系の沈殿が生じ, pH が低いときは橙色の沈殿が生じ, pH 6 以下では沈殿は生じない¹⁾. また, 温度が低い時は, 粒子の小さいコロイド状態である Cu_2O の黄色沈殿が生じる²⁾, と報告されている. しかし, 具体的にどのような条件で黄色沈殿が生成するのかが明示されていない. これらの先行研究から, フェーリング反応の進行初期に黄色沈殿が生じるのではないかと考え, 反応速度を遅くすれば, 一定時間の反応によって, 黄色沈殿が生じるのではないかと考えた. 反応温度, 水酸化ナトリウム濃度, 反応時間に着目し黄色沈殿が生成する条件を探ることにした.

2. 材料・研究方法

2-1. 研究試料

〈実験 1, 2〉

フェーリング A 液 *1

フェーリング B 液 *2

1.05 %グルコース水溶液 *3

〈実験 3〉

フェーリング A 液

29.8%酒石酸カリウムナトリウム水溶液 *4

10.1%水酸化ナトリウム水溶液 *5

1.05%グルコース水溶液

*1 硫酸銅(II)五水和物 6.92 g を純水に溶解し 100 mL とした.

*2 酒石酸カリウムナトリウム 34.6 g と水酸化ナトリウム 10 g を純水に溶解し 100 mL とした.

*3 グルコース 1.0 g を純水に溶解し 100 mL とした.

*4 酒石酸ナトリウムカリウム 34.6 g を純水に溶解し 100 mL とした.

*5 水酸化ナトリウム 10 g を純水に溶解し 100 mL とした.

ウォーターバス(矢沢科学 ウォーターバス)

人工気象装置(ケニス 人工気象器 LH-220N)

ボルテックスミキサー(Vision Scientific ボルテックス実験用シェーカー KMC-1300V)

遠心分離機(TAITEC MICRO CLEVER CR-12, RPMX1000:12)

光学顕微鏡(SHIMADZU Microscope GBL-600MBhL)

2-2-1. 研究方法(実験 1)

渡辺, 2010³⁾ に記載されている試薬を用いたフェーリング反応における, 反応温度と反応時間の影響を調べた.

- ①ウォーターバスに水道水を 2 L ほど入れ、約 40°C に加熱した。
- ②使用する試薬を 25°C の人工気象装置、あるいは①の湯浴に静置し、25°C と 40°C の試薬を準備した。
- ③各温度で試験管にフェーリング A 液 2 mL とフェーリング B 液 2 mL を入れ、ボルテックスミキサーで 5 秒程度攪拌した。
- ④③の試験管に各温度の 1.05% グルコース水溶液を 2 mL 加え、ボルテックスミキサーで 5 秒程度攪拌した。
- ⑤各温度で静置し、30 秒、1 分、3 分、5 分、15 分、30 分、1 時間、反応させた。
- ⑥⑤の反応後、ボルテックスミキサーで 5 秒程度攪拌した。
- ⑦⑥を 1.5 mL 取ってマイクロチューブに入れ、3 分間遠心分離した。
- ⑧⑦の上澄み液をピペットで除去し、純水を加えて 1.5 mL とし、再び遠心分離を行った。この作業を 2 回繰り返した。
- ⑨⑥をプレパラートに 1 滴取り、光学顕微鏡で粒子の大きさを観察した。
- ⑩④の溶液の pH を pH 試験紙アルカリブルーで測定した。

2-2-2. 研究方法(実験 2)

実験 1 の一条件(25°C, 3 分間)で生成した沈殿を 10 回分集め、色を観察した。

- ①使用する試薬を 25°C の人工気象装置に静置し、25°C の試薬を準備した。
- ②実験 1 の③と同じ。
- ③実験 1 の④と同じ。
- ④25°C の人工気象装置で、3 分間反応させた。
- ⑤実験 1 の⑥と同じ。
- ⑥実験 1 の⑦と同じ。
- ⑦⑥の上澄み液をピペットで除去した。
- ⑧別の試験管を用意し、②～⑤を行った。
- ⑨⑦のマイクロチューブに⑧でできたものを加えて 1.5 mL とし、3 分間遠心分離した。
- ⑩⑦～⑨を 9 回繰り返した。

- ⑪マイクロチューブに純水を加えて 1.5 mL とし、再び 3 分間遠心分離を行った。これを 2 回繰り返した。

2-2-3. 研究方法(実験 3)

フェーリング B 液の水酸化ナトリウムの量を減らした試薬を用いたフェーリング反応における、反応時間と反応温度の影響を調べた。

- ①ウォーターバスに水道水を 2 L ほど入れ、約 30°C, 35°C, 40°C に加熱した。
- ②使用する試薬を①の湯浴に静置し、30°C, 35°C, 40°C の試薬を準備した。
- ③各温度で試験管に 29.8% 酒石酸カリウム水溶液 2 mL と 10.1% 水酸化ナトリウム水溶液 0.5 mL(実験 3-1), 0.2 mL(実験 3-2)を入れ、ボルテックスミキサーで 5 秒程度攪拌した。
- ④試験管にフェーリング A 液 2 mL と③を入れ、ボルテックスミキサーで 5 秒程度攪拌した。
- ⑤④の試験管に各温度の 1.05% グルコース水溶液を 2 mL 加え、ボルテックスミキサーで 5 秒程度攪拌した。
- ⑥⑤の実験 3-1 の試験管を①の各温度の湯浴につけ、それぞれ 3 分、5 分、10 分反応させた。
- ⑦実験 1 の⑥と同じ。
- ⑧実験 1 の⑦と同じ。
- ⑨実験 2 の⑦と同じ。
- ⑩別の試験管を用意し、③～⑦を行った。
- ⑪実験 2 の⑨と同じ。
- ⑫⑨～⑪を 2 回繰り返した。
- ⑬実験 2 の⑪と同じ。
- ⑭⑤の溶液の pH を pH 試験紙アリザリンイエローで測定した。
- ⑮⑤で混合した実験 3-2 の反応液について、ガスバーナーで 3 分間加熱した。

表 1. 各実験でフェーリング反応させた各物質の量 (mmol)

	NaOH	KNaC ₄ H ₄ O ₆	CuSO ₄	グルコース
実験1, 2	5.00	2.45	0.11	0.55
実験3-1	1.25	2.45	0.11	0.55
実験3-2	0.50	2.45	0.11	0.55

3. 実験結果

3-1. 結果(実験 1)

実験 1 の結果を、図 1、表 2、図 2、表 3 に示す。

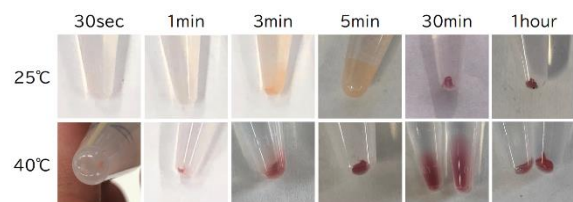


図 1. 反応後遠心分離したサンプルの様子

表 2. 沈殿の色の変化

	30sec	1min	3min	5min	30min	1hour
25°C	—	—	橙	橙	赤	赤
40°C	赤	赤	赤	赤	赤	赤

25°C の反応では、30 秒、1 分で、沈殿がほとんど生成しなかった。3 分、5 分で、橙色の沈殿が生成した。30 分、1 時間で、赤色の沈殿が生成した。40°C の反応では、沈殿はすべて赤色であった。

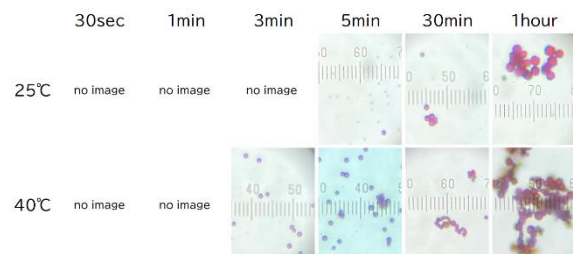


図 2. 生成物の粒子の大きさ

光学顕微鏡で観察したもの。倍率は 600 倍。no image は粒子が小さく、観察できなかったことを示す。

表 3. 生成物の粒子の大きさ

	30sec	1min	3min	5min	30min	1hour
25°C	—	—	—	2.50	3.25	5.25
40°C	—	—	2.25	2.75	2.00	4.50

どちらの温度の場合でも、反応時間が長くなるにつれて生成物の粒子が大きくなる傾向があった。反応液の pH は 13.6 であった。

3-2. 結果(実験 2)

実験 2 の結果を図 3 に示す。



図 3. 実験 1, 2 のサンプルの色の比較

(左)25°C, 3 分の 1 回分, 25°C, (中央)3 分の 10 回分,

(右)25°C, 1 時間の 1 回分.

沈殿を 10 回分集めたものも、沈殿の色は橙色であり、赤色に見えることはなかった。

3-3. 結果(実験 3)

実験 3-1 の結果を、図 4、表 4 に示す。

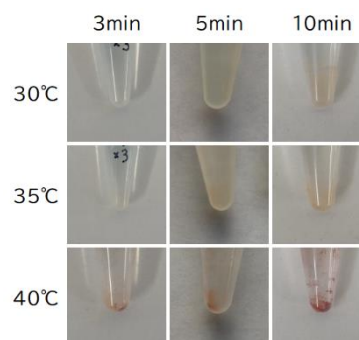


図 4. 反応後遠心分離したサンプルの様子

生成した沈殿を 3 回分集めたもの。

表 4. 沈殿の色の変化

	3min	5min	10min
30°C	—	黄	橙
35°C	黄	黄～橙	橙
40°C	赤	赤	赤

30°C の反応では、3 分で沈殿がほとんど生成しなかった。5 分で黄色、10 分で橙色の沈殿が生成した。35°C の反応では、3 分で黄色の沈殿が生成した。5 分で黄～橙色、10 分で橙色の沈殿が生成した。40°C での反応では、沈殿はすべて赤色であった。反応液の pH は 11.0 であった。

実験 3-2 では、0.50 mmol の水酸化ナトリウムを用い、ガスバーナーで 3 分間反応させたが沈殿は生成しなかった。この反応液の pH は 10.4 であった。

4. 考察

実験 1 の結果(図 1, 表 2, 図 2, 表 3)より, 反応温度を低く, 反応時間を短くすることで沈殿の色が赤色から橙色となり, 黄色に近づいたが, 黄色沈殿は得られなかった. また, 反応が進むと生成物の粒子が大きくなるとわかった.

これらのことより, フェーリング反応では, 反応温度を低くすることで反応速度を遅くし, 短い反応時間で観察すれば, 生成物の粒子が小さくなり, 沈殿の色が黄色に近づくと考えられる. このことは, 先行研究の, 「フェーリング液とブドウ糖の反応は温度が低い時は黄色沈殿を生ずるが, さらに加熱すると赤色沈殿に変わる. 黄色沈殿は粒子の小さいコロイド状態の酸化第一銅 Cu_2O で, 加熱によって coagulate して粒子が大きくなり赤色を呈するものと考えられる。」²⁾という記述に即する. 注) coagulate:凝固する.

実験 1 の条件では, 25°C で 3 分のとき沈殿の色が最も黄色に近づいたが, まだ赤みが残っていた.

生成した沈殿の色が黄色に近づいたのは生成した沈殿の量が少ないためではないかと考え, 実験 2 を行った.

実験 2 の結果(図 3)より, 生成した沈殿を集めても赤色に見えることはなかった. つまり, 生成した沈殿の量が少ないために薄い色に見えたのではなく, 生成した沈殿の色自体が橙色になっていたことが示された.

次に, 水酸化ナトリウム濃度を下げ, 反応速度をさらに遅くすることで沈殿をより黄色に近づけようと考え, 実験 3 の条件で実験を行った.

実験 3-1 では, 30°C で 5 分間, および, 35°C で 3 分間の条件で黄色沈殿が得られた. 生成物の粒子が $0.50\ \mu\text{m}$, $0.75\ \mu\text{m}$ と小さく, 沈殿の色が黄色になったと考えられる.

表 5. 実験 1, 3 のまとめ

	温度($^\circ\text{C}$)	時間(分)	色	サイズ(μm)	pH
実験1	25	60	赤	5.25	13.6
	25	3	橙	1.25	13.6
実験3-1	30	5	黄	0.50	11.0
	35	3	黄	0.75	11.0
実験3-2	ガスバーナー	3	沈殿なし		10.4

中村, 内川, 1967¹⁾ は, pH 6 以下では沈殿は生成しないと報告しているが, 実験 3-2 では, pH 10.4 でも, ガスバーナーで 3 分間反応させたとき沈殿は生成しなかった. この pH では, 反応がほとんど進まないものと考えられた.

5. まとめと今後の課題

本研究では, pH 11.0, 30°C で 5 分間または 35°C で 3 分間のフェーリング反応で黄色沈殿を生成することができた. この時, 生成物の粒子は $0.50\ \mu\text{m}$, $0.75\ \mu\text{m}$ と小さかった.

本研究では, 目視で沈殿の色を判定したが, Lab 色空間などを用いて色を数値化することでより傾向が明確になると考える. また, グルコースの濃度, 糖の種類を変えると反応速度が変わると考えられ, 結果がどう変わるのか調べたい.

今回, 光学顕微鏡を用いたため, 小さい粒子の大きさを測定できなかった. 電子顕微鏡を用いることで, 生成した粒子の大きさとの関係を詳細に調べることができると考える.

6. 参考文献

- 1) 中村宣子, 内川澄雄, 1967, フェーリング溶液とブドウ糖との反応により生ずる沈殿の色, 昭和 41 年度九州地区化学教育研究協議会, 化学教育関係研究発表の講演要旨, 15, 1, 162-.
- 2) 山本英十, 1970, 糖試験などに用いる銅試薬の考察(1) - Fehling 液を中心に -, 茨城大学教育学部紀要, 20, 161-173.
- 3) 渡辺洋子, 2010, フェーリング液の還元(フェーリング反応), 化学と教育, 58, 9, 414-415.

アントシアニンの色の変化

～ イオンごとのアントシアニンの構造 ～

笹田優衣 横山紗良

要旨

今回の目的はアントシアニンの色の変化の条件を見つけ出すことであるため、アントシアニンを含む物質と様々な種類のイオンを混ぜるという実験を行った。その結果、アルミニウムイオンと紫キャベツの組み合わせの時に色の変化が見られた。結果から、イオン、水溶液の pH だけでなくイオンが金属錯体へと構造を変えることによってもアントシアニンは色を変えることが分かった。

1. はじめに

紫キャベツは pH によって色が変化するということは一般的に知られていることであるが、その色の変化はアントシアニンによって引き起こされるものであることが予備調査でわかった。それに基づいて私たちは予備実験を行い、pH によるアントシアニンの色の変化を実際に確認した。また、アントシアニンは pH によって構造を変えるという旨の書かれた資料¹⁾を発見した。その際に得たデータが図 3 である。このことから構造の変化と色の変化には深い関わりがあるとみて、イオンの種類、イオンの濃度、アントシアニンが含まれている物質の観点から見たアントシアニンの色の変化について研究することにした。

そこで私達は各観点からの仮説を立てた。まず用いるイオンの種類の観点では、アジサイの花の色が、生育している土壌によって変化することから、土壌に多く含まれるイオンを使うと色の変化が見られるという仮説を立て、アントシアニンとイオンの種類との関係についてそれらの三つの観点から実験を行った。具体的には以下の通りである。

2. 材料・研究方法

2-1. 研究試料

紫キャベツ, 硝酸アルミニウム水溶液, 硝酸ナト

リウム水溶液, 桃色のアジサイの花びらを用意し, 実験を行った。

2-2. 研究方法

まず 10^{-1} mol/L の硝酸アルミニウム水溶液を 100 mL 調整した。次いで、これを順次 10 倍希釈することで硝酸アルミニウム水溶液を作った。次に各試験管にそれぞれの濃度の硝酸アルミニウム水溶液を 9.0 mL ずつ入れ、紫キャベツ 1.0 g を各試験管に入れ色の変化を見た。

次に、上記と同様の方法で $10^{-1} \sim 10^{-6}$ mol/L の硝酸ナトリウム水溶液を作った。そして、アジサイの花びらを 1.0 g ずつ測り取り、紫キャベツで行ったのと同様の実験を行った。

これらを用いて、硝酸アルミニウム水溶液と紫キャベツ, 硝酸アルミニウム水溶液とアジサイ, 硝酸アルミニウム水溶液とすりつぶしたアジサイ, 硝酸ナトリウム水溶液と紫キャベツ, 硝酸ナトリウム水溶液とアジサイ, 硝酸ナトリウム水溶液とすりつぶしたアジサイの 6 パターンでそれぞれ実験を行い、試験管内の色の変化を見た。(図 1, 図 2)

3. 結果

実験で見られた色の変化としてまず、変化の見られた硝酸アルミニウム水溶液と紫キャベツとの

組み合わせ(図 1)では、濃度が $10^{-1} \sim 10^{-2}$ mol/L の時に紫色から青色への色の変化が見られた。また、この変化が見られた組み合わせにおける濃度別の色の変化は、 $10^{-1} \sim 10^{-2}$ mol/L の時に明瞭な色の変化が見られた。

4. 考察

アントシアニンは先行研究²⁾により構造の変化で色が変わることが知られており、用いる水溶液が酸性であるときは赤色に、中性域であるときは紫色に、アルカリ性であるときは青色に変化することが分かっている。しかし、実際は硝酸アルミニウム水溶液と紫キャベツの組み合わせの実験を行った際、硝酸アルミニウム水溶液は酸性であるが赤色ではなく青色への色の変化が見られた。これはアントシアニンの構造が記載された図(図 3)と照らし合わせて考えると、アルミニウムイオンとアントシアニンが混合されたことで、アルミニウムイオンが金属錯体を形成したからであると考えられる。参考文献²⁾より、『比率の決まったアントシアニン、フラボン、および金属イオン(6:6:2)が混合されるだけでひとりでに自己組織化して、互いに相手を認識したうえできっちりとおさまった超分子を形成することで金属錯体型アントシアニンが発生した』とあるため、このことによりみられた反応であると考えられる。また、参考文献²⁾から考えると、アルミニウムイオンはアントシアニンと金属錯体を形成しやすいイオンであると考えられる。

私たちの掲げた実験目的に対して、明確な条件を自分たちで見つけたわけではないが、アントシアニンの色の変化に金属イオンの種類や濃度が関係していることが、実験を通して示すことができたと考えられる。

5. まとめと今後の課題

アントシアニンには、土壌などに含まれる成分によって色を変えるという性質があることが分かった。今回はアルミニウムイオンと紫キャベツの組み合わせの時だけしか色の変化が見られなかった

が、他の成分のときにもきつと特有の色の変化がみられると思われるので、建築の場など土壌の成分を調べたい時などにアントシアニンを用いて指示薬のように使用することができると考えられる。

今後の課題として、アントシアニンを人体への影響がないやり方で安定させる方法を考えることがあげられる。アントシアニンは食品にも含まれるが、不安定であるため崩壊しやすい。アントシアニンが崩壊すると食品は変色してしまうので、見た目が美味しなくなさそうになってしまう。もしアントシアニンを簡単にかつ人体への害がない方法で安定させることができれば、アントシアニンによる食品の変色を防げるので活用の幅が広がると思われる。

6. 参考文献

- 1) 吉田久美, 2021.4.10, Yoshida Laboratory <http://www.info.human.nagoya-u.ac.jp/lab/yoshida/research1.html>, 2022.2.3
- 2) 制作者不明, 2017.11.13, Wikipedia <https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%A2%E3%83%BC%E3%83%B4%E3%82%A3%E3%83%B3%E3%82%B0%E3%83%BB%E3%82%A6%E3%82%A3%E3%83%AA%E3%82%A2%E3%83%A0%E3%82%B9%E7%B3%BB%E5%88%97>, 2022.2.3
- 3) 中尾裕則, 無記載, 有効イオン半径 <https://research.kek.jp/people/hironori/naka/lab/info/ionradii.html>, 2022.2.3

7. 添付資料



図 1. 紫キャベツと硝酸アルミニウム水溶液の混合後の様子

7本の試験管のうち1番左から、左から6番目の試験管にかけて、水溶液の濃度が $10^{-1} \sim 10^{-6}$ mol/Lとなっており、1番右の試験管は純水と紫キャベツの混合後の様子を示している。

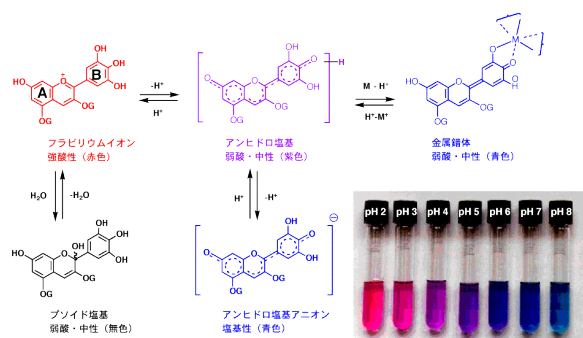


図 2. アジサイの花びらと硝酸アルミニウム水溶液の混合後の様子

上図：アジサイの花びらと硝酸アルミニウム水溶液の混合後の様子

下図：すりつぶしたアジサイの花びらと硝酸アルミニウム水溶液の混合後の様子

左から6番目の試験管にかけて、水溶液の濃度が $10^{-1} \sim 10^{-6}$ mol/Lとなっている。



M = 2価、または3価の金属イオン、G = グルコース

図 3. アントシアニンの構造
参考文献¹⁾より引用したアントシアニンの構造に関する図である。

白い炎を作る！？

～ 金属塩の混合による炎色反応 ～

今吉嶺太 田籠心太郎 田中優佑 森下龍琉

要旨

複数の金属塩を含む水溶液を用いて炎色反応による炎を確認する実験を行った場合、それぞれの金属塩による炎色反応の色が混ざった炎が観察されるのかどうかを調べるため、ブンゼンバーナーと白金線、および混合した金属塩水溶液を用いて実験を行った。その結果、それぞれの金属塩の炎色反応の色が混ざった炎を観察することはできなかった。金属塩の炎色反応はそれぞれ独立して起こり、炎色反応が同時に起こっても炎の場所によって色が異なるため、炎色反応による白い炎の実現はできなかった。また、各金属の反応の強さは放出する光の波長と電気陰性度に関係があること、炎色反応時に各金属は気体のような状態として存在することが考えられた。

1. はじめに

単一の金属塩による炎色反応は一般によく知られているが、複数の金属塩を用いた炎色反応に関することはあまり明らかになっていない。そこで、まずは 2 種類以上の金属塩の混合溶液による炎色反応では色が混ざった炎が観察されるのかを調べるべく研究を始めた。

先行研究の中で、2 種類の金属塩の混合溶液の炎色反応は炎の中で内側と外側で別の色に分かれて現れ、その原因は炎の温度が場所によって違うことだということが報告されている¹⁾。

これをもとに、私たちは白金線を用いて混合溶液を炎の中で最も温度が高い外炎に入れば、それぞれの炎色反応が同時かつ同位置で生じ、それぞれの炎色反応の色が混ざった炎を観察できるという仮説を立てた。もしそれぞれの炎色反応の色が混ざった炎が観察されるならば、炎色反応によって白い炎を作り出すことも可能である。

2. 材料・研究方法

2-0. 材料

・金属塩
硝酸ナトリウム、硝酸セシウム、硝酸銅(II)、硝酸

ストロンチウム

・分光器
簡易分光器(分光セル付き)SP-W(ナリカ(株)製)
・一眼レフカメラ
EOS Kiss X8i(キヤノン(株)製)
・その他
白金線、ブンゼンバーナー

2-1. 低濃度の試料での実験

硝酸ナトリウム、硝酸セシウム、硝酸銅(II)、硝酸ストロンチウムの 1.0 mol/L 水溶液と、各金属塩の濃度が 0.50 mol/L となるように 4 種類の金属塩から 2 種類の金属塩を選択し混合した溶液をそれぞれ調製し、10 種類の試料を作成した(7.添付資料 表 1)。

実験は、暗幕を閉じ、隙間をガムテープでとめた暗い教室で図 1 のように行った。先端を丸めた白金線に試料をつけ、それをガスバーナーの炎の外炎に入れ、炎色反応の様子を一眼レフカメラと、分光器を通したスマートフォンで撮影した。ガスバーナーと一眼レフカメラの距離は約 1 m、分光器との距離は約 30 cm とした。これを 10 種類の試料すべてにおいて行った。

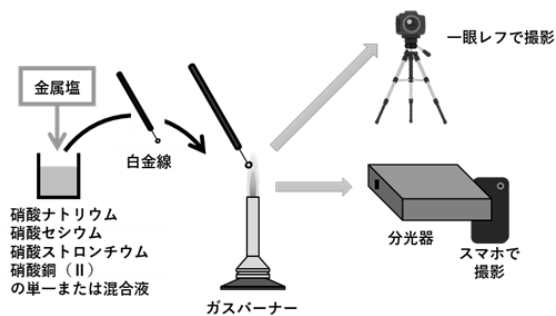


図 1. 実験方法

2-2. 高濃度の試料での実験

上記の金属塩の 1.0 mol/L 水溶液と、上記の 4 種の金属塩から、各金属塩の濃度が 1.0 mol/L となるように 2 種類の混合液、3 種類の混合液、4 種類の混合液を調製した (7. 添付資料 表 2)。実験は 2-1 と同様に行った。

2-3. 二種類の試料の同一炎内での炎色反応の観察

硝酸セシウム、硝酸ナトリウムそれぞれの 0.50 mol/L の単一溶液を用いて炎色反応の観察を行った。まず、硝酸セシウム水溶液に先端を浸した白金線をバーナーの外炎に差し込み炎色反応を観察した。その後、硝酸セシウムの白金線は差し込んだまま、硝酸ナトリウム水溶液に先端を浸した白金線と同じ炎の外炎部分に差し込み、炎色反応を観察した。その後、硝酸ナトリウムに浸した白金線を炎から抜いて反応を観察した (7. 添付資料 図 2)。実験は、暗幕を閉じ、隙間をガムテープで閉じた暗い教室で行った。

3. 結果

3-1. 低濃度の試料での実験

得られた結果は表 1 (7. 添付資料) のようになった。なお、輝線スペクトルは Na の炎色反応では 590 nm の位置に、Cu の炎色反応では 537 nm の位置に、Sr の炎色反応では 605 nm 等の位置に、Cs の炎色反応では 456 nm の位置に観察された。Sr の炎色反応による主な光の波長は 461 nm とされているが、605 nm の位置に現れる輝線

スペクトルの方がより判別しやすかったため、605 nm の位置で Sr の反応が起こっているのかを判別した (7. 添付資料 図 3)。この表のように、炎色反応は金属塩を混合させたとき、炎色反応の色の混ざった炎が観察されることはなく、同時に炎の別の場所で炎色反応が起こることもなかった。一方の金属は始めと終わりに長時間炎色反応を起こし、もう一方の金属は途中にのみ短時間反応を起こした。また、2 種類の金属塩を含む混合溶液では、2 種類の金属塩それぞれの輝線スペクトルが順に観察され、炎の色としてもそれぞれの色が順に観察された。また、どちらか一方の元素の方が長時間炎色反応が起こっており、長時間炎色反応が起こりやすい元素の順序は Na, Cu, Sr, Cs の順であった (図 4)。

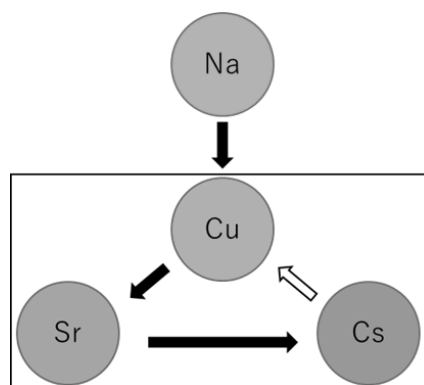


図 4. 反応の起こりやすさ (低濃度時)

3-2. 高濃度の試料での実験

得られた結果は表 2 (7. 添付資料) のようになった。金属塩を 2 種類混合させた場合の実験では、一方の試料の炎色反応の輝線スペクトルは常に観察されたが、もう一方の試料の炎色反応の輝線スペクトルは他方の反応の途中にのみ観察された。炎の色は、輝線スペクトルの発光に対応して同様に観察される場合と、いずれかの金属塩の炎色反応が他に優先して観察される場合とがあった。多くの場合、Na の炎色反応が他の元素に優先して観察された (7. 添付資料 図 5)。

また、炎色反応の起こりやすさは、基本的には低濃度の試料での実験結果と同じであったが、硝

酸銅(Ⅱ)と硝酸セシウムの混合液での実験では、Csの方がCuよりも持続して反応が現れた。このことを図に示すと、図6のようになった。

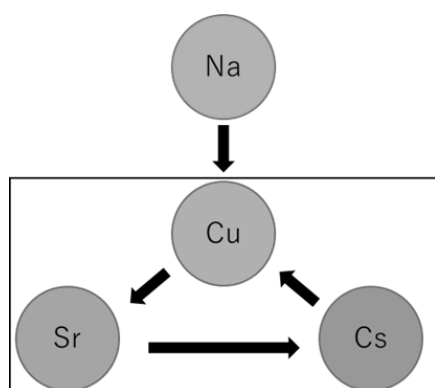


図6. 反応の起こりやすさ (高濃度時)

金属塩を3種類混合させた場合の実験でも、輝線スペクトルは、2種類の時と同様に、一部の金属塩の輝線スペクトルは常に観察されるが、それ以外の金属塩のスペクトルは最初または途中にのみ観察された。炎の色は、混合液にNaが含まれていたときは、Naの反応が強く現れたため、目視では他の2種類の反応は観察できなかった。Na以外の3種類の金属塩の混合溶液では、図7(7. 添付資料)のように、炎には、すべての金属塩の炎色反応が同時に観察され、色が重なって白く見える部分もあった。

金属塩を4種類混合させた場合の実験では、4種類全ての元素の炎色反応の輝線スペクトルが観察されたが、炎の色はNaとCsの炎色反応が観察された。

3-3. 二種類の試料の同一炎内での炎色反応の観察

図2(7. 添付資料)のように硝酸セシウム水溶液を先端につけた白金線をバーナーの炎に入れると、Csの反応の色のみが観察された。そこに、硝酸ナトリウム水溶液を先端につけた白金線を炎に差し込むと、炎の色はNaの炎色反応の色になり、Csの炎色反応の色が見られなくなった。その後、硝酸ナトリウムをつけた白金線を抜き、硝酸セシウ

ムをつけた白金線を炎の中に残したままにしても、炎の色は、Naの炎色反応のみが観察された。

4. 考察

まず、3-1から、Na, Cu, Sr, Csの順に反応が現れやすいということが分かった。これには、各金属原子の基底状態と励起状態のエネルギー差が起因しており、炎色反応により放出される光の「波長の長さ」が関係していると考えられる。

安定した原子は基底状態で存在するが、炎の中で熱エネルギーを与えられると、金属原子は励起する。それが基底状態に戻る際に放出されるエネルギーが光として観察される²⁾。(なお、励起後の金属原子はエネルギー的に不安定であるため、速やかに基底状態に戻る³⁾。

また、光は波長が長いほどエネルギーが小さいため、炎色反応によって生じる光の波長が長いほど、励起状態から基底状態に戻るときに放出されるエネルギーが小さいと言える。

よって、表3に示すように、放出される主な光の波長が長いほど基底状態と励起状態のエネルギー差が小さいため励起しやすく、反応が起こりやすいと考えられる^{4), 5), 6), 7)}。

表3. 各金属塩の炎色反応の発生光における主な波長の長さエネルギーと電気陰性度の関係^{4), 5), 6), 7)}

金属塩	Na	Cu	Sr	Cs
主な波長 (nm)	590	537	461	456
Eの値 (J)	2.10	2.31	2.69	2.72
電気陰性度	0.9	1.9	1.0	0.8

そのように考えると、3-2の実験において、CsのよりもCuの方が炎色反応が起こりやすいはずであるが、3-2の2種類の金属塩の混合溶液での実験においてはCsの方がCuよりも炎色反応が起こりやすくなった。これには、電気陰性度が影響

すると考える。

各元素の電気陰性度は表 3 の通りである。これより、Cuはこの4種のうち電気陰性度が最も高く、Csは電気陰性度が最も低い。電気陰性度は、原子が電子を引き付ける強さであるため、電気陰性度が高ければ高いほど励起状態になりにくいと考えられる。また、電気陰性度が高い原子が他の金属の電子を引きつけることで、他の電気陰性度が低い金属原子は励起しやすくなると考える。

高濃度の試料での実験において電気陰性度の影響が現れたのは、水溶液において金属塩の濃度を濃くすると、各金属原子間の距離が小さくなるため、それぞれの金属原子のもつ電気的性質が強く現れるようになったからだと考えられる。

3種類、4種類の混合液での実験においても反応の起こりやすさには波長の長さと電気陰性度が関係している。Na, Cu, Sr, の中では、波長が長いほど炎色反応が強く現れたと考える。Csの炎色反応が観察されやすかったのは電気陰性度が最も低く、他の電気陰性度が高い原子により励起しやすくなっていたためだと考える。

ここまでの考察により、複数の金属の炎色反応が独立に同時に起こっており、それぞれの色が観察されるのであり、混ざった色の炎は観察されないと考えられる。3-2においてNa以外の3種類の金属塩を混ぜた溶液での炎色反応では、その光が混ざったため部分的に白い炎が見られたのだと考察する。

3-3において、硝酸ナトリウム水溶液を先端につけた白金線を炎から抜いてもなおNaの反応のみが観察されたのは、炎色反応の際に金属は単独の原子として存在する⁸⁾ことを踏まえると、硝酸ナトリウムの白金線を炎に差し込んでいる間に、Naが原子となり炎の中を飛び回って、硝酸セシウムに浸していた白金線に付着したからだと考える。つまり、炎色反応時に各金属は気体のような状態として存在していると考えられる。よってバーナーの限定した部分に白金線を挿入したとしても、金属原子はバーナーの炎のさまざまな場所に移動

できるため、限定した一部で同時に炎色反応をさせることは難しく、炎の中に分散した金属原子はそれぞれの場所で炎色反応を起こすと考えられる。

5. まとめと今後の課題

以上の実験・考察より、炎色反応時、金属は気体のような状態となり、それぞれが反応しやすい場所で独立して反応するため、色が混ざった炎は観察されず、白い炎も実現できないと考える。

この結論を受けて我々が次に挑むべき課題は、試薬の種類を増やす、バーナーの火力を上げる等、条件を変えて実験を行うことである。

6. 参考文献

- 1) 福岡県立鞍手高等学校普通科, 2016, 金属塩混合溶液における炎色反応の研究～虹色の炎を作る～, 1, 2 ページ
- 2) 梶目清一郎, 1981, PAC 化学—実験を中心とした高校化学. 三共出版, 99, 100 ページ
- 3) 中東克美, 2006, 光化学事始, http://www.st.hirosaki-u.ac.jp/~jun/mhp0603/mhp0603_34.html, 2022. 01. 14 閲覧
- 4) 國友正和 ほか 10 名, 2021, 改訂版 物理 348 ページ, 数研出版
- 5) 木原寛, 今福京子, 2014, 炎色反応の実験結果, <https://katakago.sakura.ne.jp/chem/flame/kekka.html>, 2022. 01. 14 閲覧
- 6) 星野泰也, 2018, 三訂版 フォトサイエンス 化学図録, 251 ページ, 数研出版
- 7) 2012, 光と色と, 光のエネルギーの計算 <https://optica.cocolog-nifty.com/blog/2012/01/post-0dfa.html>, 2022. 2. 3 閲覧
- 8) 深野哲也, 2017, 炎色反応にかかわる様々な話題, 135 ページ

7. 添付資料

表 1. 低濃度での実験において観察されたスペクトル及びカメラでの色

*¹時間経過は左端を反応開始, 右端を反応終了として輝線スペクトルが観察されていた時間を相対的に表現した.

*²カメラで観察された炎色反応の色に対応する金属塩を表記した.

「対応」はカメラで撮影した炎に輝線スペクトルの色の炎が見られたことを意味する.

*³輝線スペクトルの色が混ざった色の炎が観察されたのではなく, 炎の様々な場所で独立して輝線スペクトルの色の炎が観察された.

	金属塩の種類				スペクトル* ¹	カメラ* ²
	Na	Cu	Sr	Cs		
1種類	○				黄色	対応
		○			緑色	対応
			○		赤色	対応
				○	紫色	対応
2種類	○	○			黄色, 緑色	対応* ³
	○		○		黄色, 赤色	対応* ³
	○			○	黄色, 紫色	対応* ³
		○	○		緑色, 赤色	対応* ³
		○		○	緑色, 紫色	対応* ³
			○	○	赤色, 紫色	対応* ³

表 2. 高濃度での実験において観察されたスペクトル及びカメラでの色

*¹, *², *³, については, 表 1 と同様である.

	金属塩の種類				スペクトル* ¹	カメラ* ²
	Na	Cu	Sr	Cs		
1種類	○				黄色	対応
		○			緑色	対応
			○		赤色	対応
				○	紫色	対応
2種類	○	○			黄色, 緑色	対応
	○		○		黄色, 赤色	Naのみ
	○			○	黄色, 紫色	Naのみ
		○	○		緑色, 赤色	対応* ³
		○		○	緑色, 紫色	対応* ³
			○	○	赤色, 紫色	対応* ³
3種類	○	○	○		黄色, 赤色, 緑色	Naのみ
	○	○		○	黄色, 赤色, 紫色	Naのみ
	○		○	○	黄色, 赤色, 緑色	Naのみ
		○	○	○	赤色, 緑色, 紫色	対応* ³
4種類	○	○	○	○	黄色, 赤色, 緑色, 紫色	NaとCs

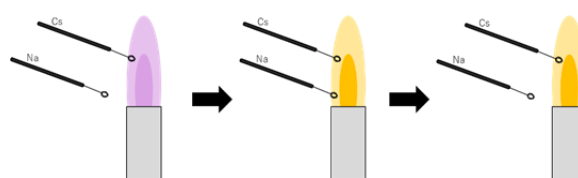


図 2. 二種類の試料の同一炎内で観察された炎色反応
矢印は時間経過を表している.

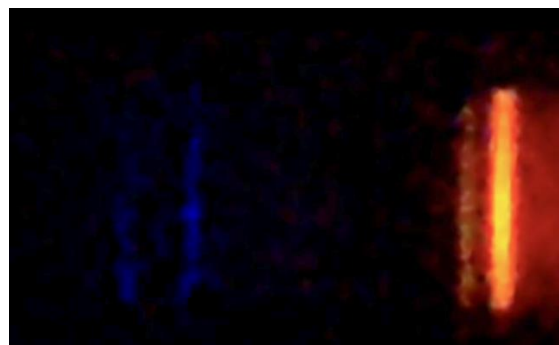


図 3. ストロンチウムの輝線スペクトル
左側の 461 nm の位置に青色の輝線が見られるが, 右側の 605 nm の位置にある橙色の輝線の観察が容易である.

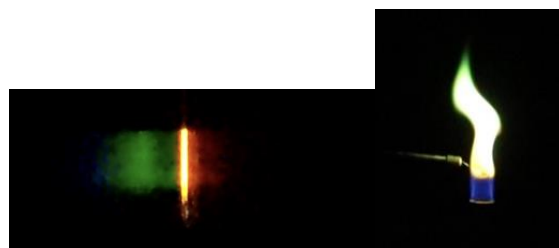


図 5. ナトリウムと銅の炎色反応

上: 輝線スペクトル 右: 観察された炎
炎の一番外の部分に銅の反応が, その内側にナトリウムの反応が見られた (ナトリウムの反応が強く, カメラの感光度の関係で中央が白くなってしまっているが, 目視で実際は銅の反応が観察された内側で黄色の炎色反応が見られた)

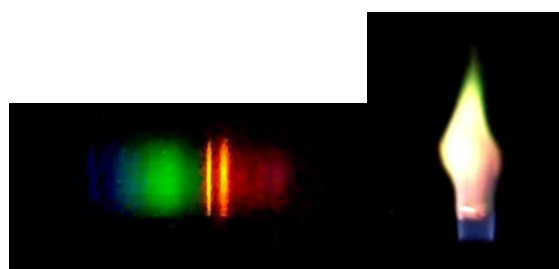


図 7. 部分的に白い炎
上: 輝線スペクトル 右: 観察された炎
炎の中央付近で白い炎が観察された. ただし, 部分的に色が異なっている.

ポリフェノールによる紫外線防御効果

～紫外線吸収剤どうしを混ぜ合わせることによる変化～

藤森幹人 山下将来 山田翁輔

要旨

ポリフェノールを多く含む植物には紫外線を吸収する効果があると知った我々は、それらを混ぜることによって紫外線の吸収度合いがどのように変わるのか、またポリフェノールの種類と紫外線吸収度に相関があるのかを研究した。Folin-Denis 法によって植物の抽出溶液に含まれるポリフェノール量を測り、それらの単体の溶液と混ぜ合わせた溶液について紫外線吸収度を調べた。その結果、混ぜ合わせることによって紫外線吸収度は単体のものの平均となることが分かり、幅広い波長に対応した日焼け止めを作ることができると考えた。

1. はじめに

紫外線が人間の肌に与えるダメージが懸念されているこの世の中で、日焼け止めはそれを防ぐ有効な手段である。しかし、市販の日焼け止めには肌荒れを引き起こすことも少なくない化学物質が含まれていることも多い。我々は、タマネギの皮にはケルセチンというポリフェノールが多く含まれており、それが紫外線を吸収する効果があり、日焼けを防ぐ効果があるということを知った。また、ポリフェノールを多く含むタマネギ以外の植物の紫外線吸収効果を調べた実験もあり、我々は植物を混ぜ合わせてから紫外線吸収度を調べるとどのように効果が変わるのか、そしてポリフェノールの種類によって紫外線の吸収度合いが変わるのかについて、肌に優しい日焼け止めを作ること为目标として研究することにした。

タマネギに含まれるポリフェノールに紫外線吸収効果があることを確認するために、タマネギ 5.9 g に水 170 g を加えて丸底フラスコに入れて 20 分加熱し、これを 1/100 に薄めた溶液の 370 nm の紫外線における吸光度を、分光光度計を用いて調べると、吸光度は 0.275 の数値を示し、ケルセチンには一定の紫外線吸収効果があると考えられた。

本研究の仮説として、紫外線吸収効果はポリフェノールの種類によって異なり、またそれらを混ぜることによって幅広い紫外線の波長に対応した日焼け止めを作ることができるのではないかと考えた。

2. 材料・研究方法

2-1. 研究試料

本研究では本校の過去の研究(ポリフェノールで日焼けトメール, 2018)により紫外線防御効果が高いと予想される植物を対象とした。

用いた試料は、タマネギ(皮)、カボチャ(皮)、ローズマリーの 3 種類である。それぞれケルセチン、リグナン、ロズマリン酸というポリフェノールが含まれる。

2-2. Folin Denis 法による検量線の作成

鈴木ら(2002)の方法を参考にカテキンの検量線を作成した¹⁾。また、質量の測定は電子天秤、攪拌はボルテックスミキサーを用いて行った。以下にその方法を示す。1 mg のカテキンを試験管 A に用意し、10 mL の純水を加えて攪拌した。その溶液から各 2 mL を試験管 B に入れ、試験管 B にはさらに純水を 2 mL 加えて攪拌を行った。

試験管 C には試験管 B の溶液を 2 mL, 純水を 2 mL 入れ, 試験管 D も同様に系列的に希釈し, カテキンの濃度が異なる試験管 A~D を得た. それらの溶液をメートルグラス A~D に各 1 mL 入れ, 純水で 5.0 mL に定容後, 攪拌した. 純水で 5 倍に希釈したフェノール試薬 7.5%, Na₂CO₃ 溶液各 1 mL を 10 mL メートルグラス A~D にそれぞれ加えて攪拌し, 暗所で 1 時間反応させた. 反応後, 分光光度計(Shimadzu UV-1700)を用い, ベースラインには純水を用いて A のスペクトルを測定し, ピークの波長が 760 nm 付近であることを確認した上で 760 nm での A~D の吸光度を測定した. その結果, 反応後, 図 1 のようなグラデーションを確認することができた. そして, カテキンの濃度と 760 nm での吸光度(ABS)の関係を示す検量線が得られた(図 2).

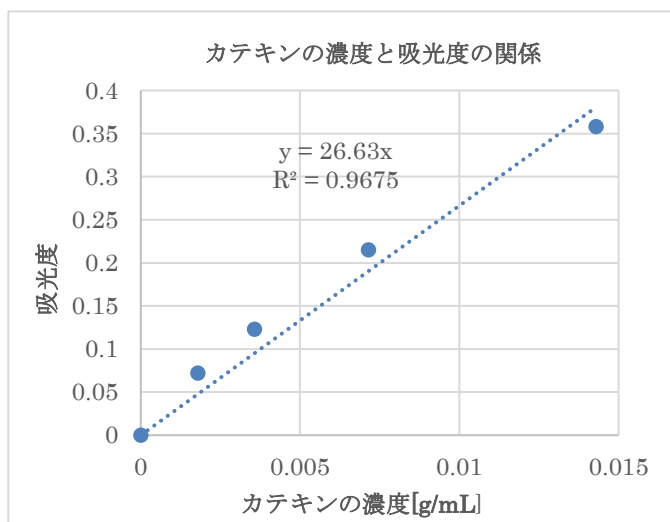


図 2. カテキンの検量線

2-3. ポリフェノールの抽出と濃度の定量

各試料を乾燥させ, ミキサーによって粉末状にした. それらを 25 mg ずつ測り, 10 mL メートルグラスに用意し, 5 mL の純水を加えて攪拌し, 15 分間抽出した後, 純水で 5 倍に希釈したフェノール試薬 7.5%, Na₂CO₃ 溶液各 1 mL を加え攪拌した後, 暗所で 1 時間反応させた. 反応後 2-2 と同様に 760 nm での吸光度を測定した.

2-4. 紫外線領域での吸光度の比較

2-3 で測定した 5 mL の純水を加えて攪拌し, 15 分間抽出した後, 純水で 5 倍に希釈したフェノール試薬 7.5%, Na₂CO₃ 溶液各 1 mL を加え攪拌した後, 暗所で 1 時間反応させた時の各試料の 760 nm での吸光度と 2-1 で得た検量線の式 ($Y = 26.63X$) を使い, 各抽出液をカテキン換算で 0.005 g/mL のポリフェノール濃度に統一し, それぞれ 200~420 nm での吸収スペクトルを測定した.

2-5. 各試料の混合による吸光度の測定

2-4 でポリフェノール濃度を統一した各試料をそれぞれ 1:1 の割合で混合し, それぞれ 200~420 nm での吸光度スペクトルを測定した.

3. 結果

3-1. 紫外線領域の吸光度の測定結果

200~420 nm での吸収スペクトルを測定したところそれぞれ以下の図 3~5 のような結果を得ることができた.

ほとんどの波長領域でもタマネギの吸光度は著しく高かった. また, ほとんどの波長領域で吸光度の大きさはタマネギ, カボチャ, ローズマリーの順になった.

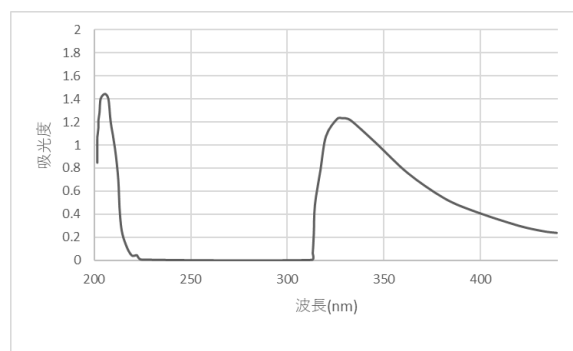


図 3. かぼちゃの吸収スペクトル

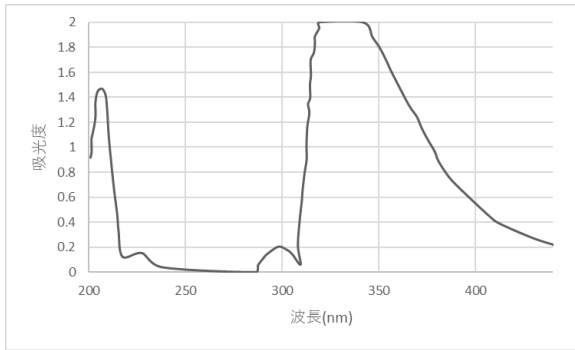


図 4. たまねぎの吸収スペクトル

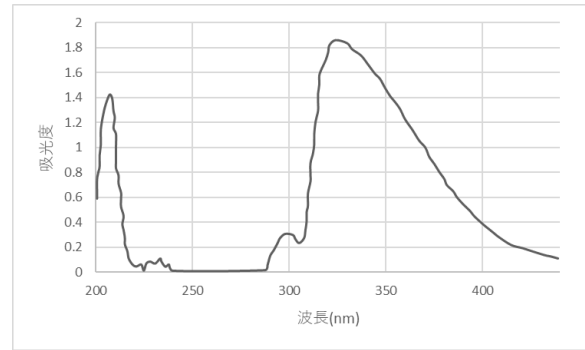


図 7. たまねぎとローズマリーの吸収スペクトル

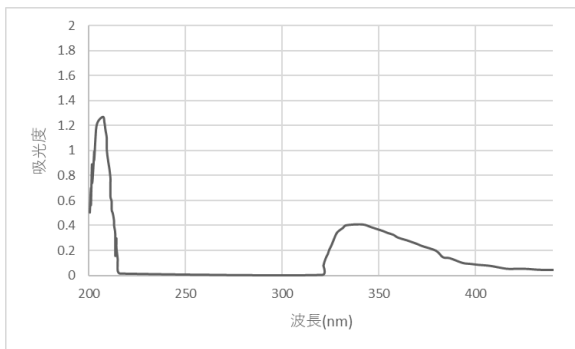


図 5. ローズマリーの吸収スペクトル

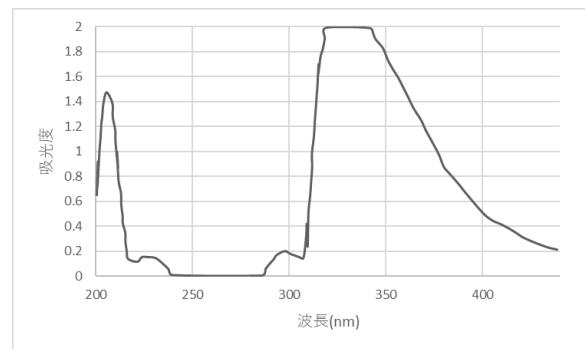


図 8. たまねぎとかぼちゃの吸収スペクトル

3-2. 各試料の混合液の吸光度測定の結果

200~420 nm での各試料の混合液の吸収スペクトルを測定したところ以下の図 6~8 のような結果を得ることができた。混合液の吸光度は混ぜ合わせる前の 2 つの試料の吸光度のおおよそ平均となった。

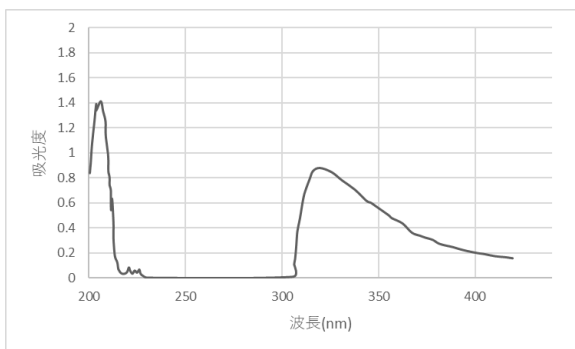


図 6. かぼちゃとローズマリーの混合溶液の吸収スペクトル

図 3~8 において、波長が 0 に近くなっている 220~310 nm の波長帯では、分光光度計の故障により、正しい数値が測定できていない。また、吸光度が 2 を超えている部分は、濃すぎる濃度の抽出液を用いてしまったため、測定できていない。

4. 考察

3-1 で、3 つの試料のスペクトルはそれぞれ極大値の位置や大きさが違ったことから、ポリフェノールの種類により多く吸収する波長が異なることがわかった。また、ほとんどの波長領域でたまねぎの吸光度が高かったことから、たまねぎのケルセチンはカボチャのリグナン、ローズマリーのロズマリン酸と比べて紫外線の波長領域で高い吸収効果を持つと考えられる。

また、3-2 で混合液の吸光度が混ぜる前の吸光度のおおよそ平均になったことから、異なる種類のポリフェノールどうしを混ぜても互いに影響しあって紫外線防御効果が減少するということはない

ということがわかった。このことは、吸収する紫外線の波長が異なるポリフェノールを混ぜることによってより幅広い紫外線の波長に対応した日焼け止めを作ることが出来ると示唆される。

5. まとめと今後の課題

5-1. まとめ

ポリフェノールの種類によって多く吸収する紫外線の波長が異なることがわかった。また、吸収する紫外線の波長が異なるポリフェノールを混ぜることによってより幅広い紫外線の波長に対応した日焼け止めを作られることがわかった。

5-2. 今後の課題

本研究では 5-1 でまとめたようなことを調べることができたが、実際にいろいろな種類のポリフェノールについても吸収スペクトルを測定し、幅広い波長に対応する日焼け止めを作るところまではできなかった。

また、ビタミン A, C, E やカロテノイドなどポリフェノール以外の吸光度に関する物質の定量や吸光度の測定を行い、その吸光度がポリフェノールによるものなのか、それともそれ以外の物質によるものなのかを明らかにすることも本研究の課題である。

さらに、本研究の結果をどのように日焼け止めとして応用していくことが可能であるかを考え、実際に検証を行うことも課題である。

6. 参考文献

- 1) 鈴木誠, 渡辺敏郎, 三浦麻子, 原島恵美子, 中川靖枝, 辻啓介, 2002, Folin-Denis 法による総ポリフェノール量測定のための抽出溶媒の検討. 日本食品工学会誌, Vol.49, No.7, 507-511.
- 2) 長尾昭彦, 2010, カロテノイドの吸収と体内動態. 食糧その科学と技術, No.48, 79-93

7. 添付資料



図 1

野菜製フィルムの生成と強度に関する研究

瀬川七海 田中杏佳 中馬千陽 久森優心

要旨

この実験は野菜を原料に、プラスチックフィルムに代わるフィルムを簡易的に生成することを目的とする。ニンジンを攪拌し、ろ過によって分離した搾りかすと搾り汁の混合物から水分を飛ばすことでシート状のフィルムを生成した。特定の範囲内では、フィルムの強度は搾りかすに含まれる繊維の量に比例することが分かった。また、フィルムの生成には繊維と糖質の比率が関係していると推測される。

1. はじめに

大阪大学産業研究所の能木雅也氏が、セルロースナノファイバーを用いた透明な「21世紀の紙」の製造技術を開発している。この技術では木材繊維からプラスチック製フィルムと同様に透明、高強度で軽量な紙を作れることが分かっている。ただし、同研究では高度な機械的・化学的処理及び薬品が使用されている。そこで、本研究では化学薬品を用いず、天然の素材のみで簡易的にフィルムを生成し、その実用性の高くなる条件を調べた。最終的には、廃棄野菜を原料にプラスチックに代わるフィルムを作れる条件を調べ、環境に配慮した新たな素材とすることを目的としている。本実験では実用的なフィルムの条件として透明性、強度、柔軟性を挙げたうえで、計測可能な強度に絞って測定し、強度の高くなる条件を調べた。

また同研究所の示す手順により、野菜と水のみを材料に家庭用ミキサー等を用いて半透明の紙状のものを作れることが分かっている。これを参考に予備実験を行ったところ、特定の材料ではこの手順に従い、フィルムを生成できることが確かめられた。実際に予備実験で試した食材はニンジン、ダイコン、オレンジの内皮、タマネギの皮、コーヒーの出し殻である。ダイコンやオレンジの内皮を用いるとフィルムに近いものはできたが、穴が開き脆かったので本実験で使用するのは難しいと判

断した。またタマネギの皮やコーヒーの出し殻を用いると、繊維同士が絡まらずフィルムは生成できなかった。故に最も生成状態の良かった、ニンジンを原料に本実験を行った。

仮説として、フィルムに含まれる繊維の量が多いほど強度が高くなると考えた。そのため実験では材料はニンジンのみで固定し、フィルムに含まれる繊維量の条件を変えて作ったのち強度を比較した。

2. 材料・研究方法

2-1 材料

野菜製フィルムの生成には水、鍋で茹でた後包丁で切ったニンジン、家庭用ミキサー、ナイロン・ポリウレタン製のストッキング(SABRINA グンゼ株式会社)、200 mL・1000 mL ビーカー、ガスコンロ、ステンレス板(0.1 mm 厚 M630 225×300 mm ミニ粘着ステンレス)、ホットプレートを使用した。フィルムの強度測定には、120 mL ペットボトル、実験室スタンド、クリップ、裁縫糸を用いて作成した強度測定装置と、2 mL ピペットを使用した。また、材料の測定には電子天秤(上皿電子天秤 UX620H 島津)を用い、フィルムの測定は電子顕微鏡(KEYENCE 3D リアルサーフェイビュー顕微鏡 VE-8800)倍率 100x、スケール 100 μm, WD 25.1, 25.3, 電子線の加速電

圧 20 kV で測定を行った。

2-2. フィルムの生成

茹でたニンジンと水を1:2.5の質量比で家庭用ミキサーを使って攪拌し、その混合物をストックングに入れ、搾って濾した。固体の搾りかすの質量に対する液体の搾り汁の質量を 7, 10, 12, 15, 17 倍と変えて希釈した。それぞれの液体を 4 分の 1 の量になるまで加熱し、加熱したものをステンレス板で作った型(図 1)に流しこみ、保温(70~90°C)に設定したホットプレート上で水分を飛ばした。表面を触っても手につかないくらいまで、およそ1~2時間加熱し、冷めた後、型から剥がしてフィルムを生成した。

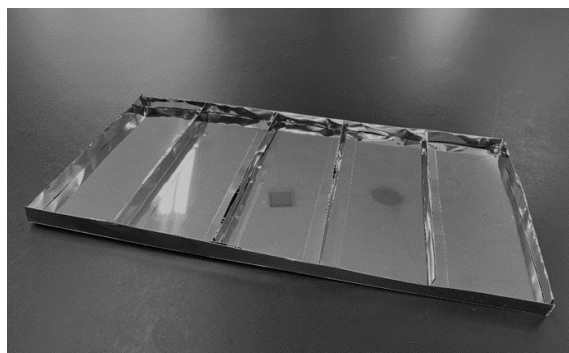


図 1 ステンレス板で作った型

2-3. フィルムの強度の測定

机の上に置いた実験用スタンドに、先端にダブルクリップを括りつけた裁縫糸を取り付けた。そのクリップに、1 cm×2 cm の大きさに切り取ったフィルムの片端を挟んだ。もう一端は 120 mL のペットボトルを吊り下げたダブルクリップで挟んだ(図 2)。ピペットで水を 2 mL ずつペットボトルに入れていき、ちぎれるまでの回数および水の量を調べた。

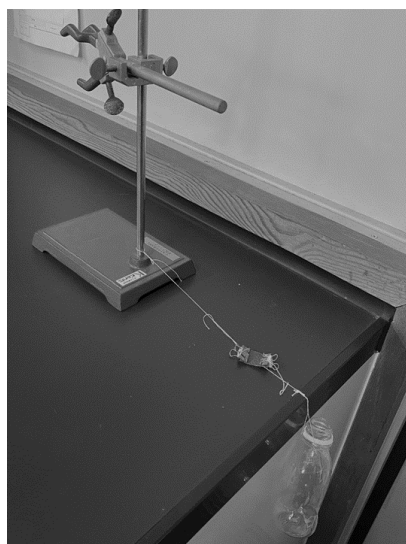


図 2 強度測定装置

3. 結果

図 3 は生成したフィルムの一部である。

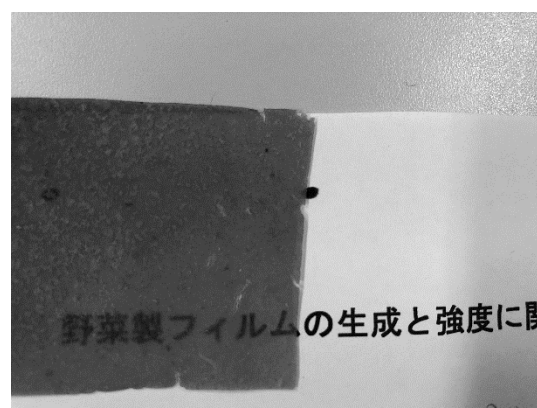


図 3 透明度のあるフィルム

表 1 は、それぞれのフィルムがちぎれるまでに必要としたおもりとして用いた水の量(単位 mL)を表したものである。図 4 はその測定結果の平均をグラフに表したものである(以下、搾りかすの質量に対する搾り汁の質量を 7 倍に希釈して生成したフィルムを 7 倍と表記する)。7 倍よりも繊維の多い状態や 17 倍よりも繊維の少ない状態ではフィルムを生成できなかった。7 倍よりも繊維の多い状態では、加熱し続けても塊のままフィルム状に結合しなかった。17 倍よりも繊維の少ない状態では、カラメル化し焦げた。強度の測定においては、1, 2 回目と 3, 4, 5 回目は別日に行ったもので、図 3

中の「なし」はフィルムが破れるなどして 1 cm×2 cm 大に切り取れず、測定できなかったものである。図 5 は京都府立大学の細矢憲氏に電子顕微鏡でフィルムの表面を撮影していただいたものである。7 倍から 17 倍になるにつれて表面の空洞や凹凸が多くなり、10 倍がもっとも繊維が絡んでいるように見える。

表 1 フィルムがちぎれるまでに要した水量 (mL)

	7倍	10倍	12倍	15倍	17倍
1回目	130	86	36	20	37
2回目	94	なし	28	30	46
3回目	144	なし	128	70	48
4回目	130	130	12	なし	24
5回目	218	148	98	なし	38
平均	143	121.3	60.4	40	38.6

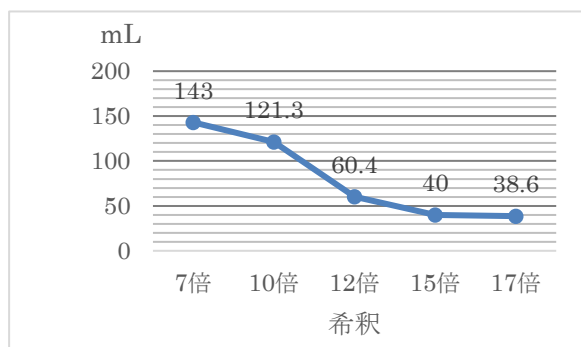


図 4 強度測定の結果

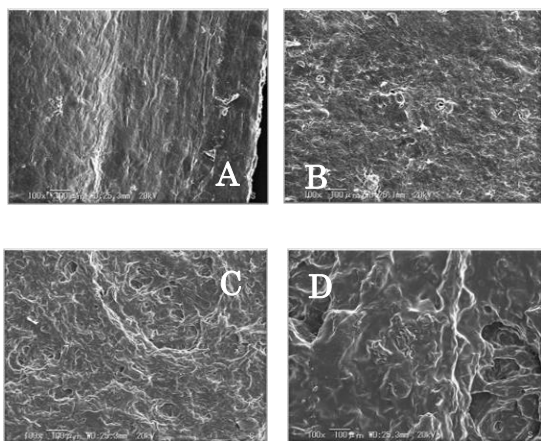


図 5 電子顕微鏡の測定結果

A: 7倍 B: 10倍 C: 12倍 D: 17倍

4. 考察

4-1 繊維量と強度の比例関係

7 倍から 17 倍の範囲では仮説のとおり繊維の量が多い、つまりしぼり汁の量が少ないほうが強度が高い、という繊維量と強度の比例関係がみられた。この範囲の中では、繊維が多いほど繊維同士が絡まって緻密になるため強度が高くなったと考えられる。しかし、7 倍以下、17 倍以上の範囲では繊維量と強度の比例関係がみられなかった。このことから、繊維の多すぎる場合、少なすぎる場合ではフィルムの強度には繊維量とは異なる要因が働いていることが分かる。

4-2 フィルムの構成成分

一般的な紙の生成において、主な原料が植物性繊維と糊であることから、ニンジンの成分のうちフィルムの生成にかかわる部分に相当する成分として、主に植物性繊維と糖類の二つを考えた。

人参 100 g に含まれる繊維と糖類の総量は以下のとおりである。

炭水化物 8.4 g	糖類	多糖類	1.4 g
		他の糖類	4.0 g
	食物繊維	水溶性	1.0 g
		不溶性	1.9 g

濾過の際、ストッキングの上には不溶性成分が残り、水溶性成分はストッキングを通過してビーカー内に流れ出たと考えられる。したがって、不溶性成分の多糖類(デンプン等)と不溶性繊維は搾りかすに含まれ、水溶性成分である単糖類と水溶性繊維はろ液に含まれている状態である。異なる希釈で作った混合液間で、搾りかすの量は 10 g と一定なので、多糖類と不溶性繊維の量は等しい。ろ液の量を変化させたことで、希釈率が低く繊維量が多いフィルムほど、単糖類の含まれる量は少なく、希釈率が高く繊維量の少ないフィルムほど単糖類の量は多くなっている。この糖質量の差異が繊維の結合の強さにかかわっていると考えた。

4-3 糖類のノリ成分としての働き

繊維を結合しているノリ成分のうち、不溶性の多糖類と水溶性の単糖類等のそれぞれの役割を調べたところ、デンプン(多糖類)は製紙の工程で繊維と繊維を接着する働きをしていることから、これと同様の働きが実験内でも起こっていると考えた。単糖類その他の働きは、でんぷんの糊化のような直接的な接着ではないものの、糖が保水性による粘着性を持つことが関係していると思われる。また実験内で材料を加熱するため、糖が液体になりさらに粘性が増すと考えられる。以上から、糖質が繊維の結合に関わっているため、繊維の量に対し適切な糖量が含まれている場合にフィルムが生成できると思われる。したがって糖質の多すぎるまたは少なすぎる状態では繊維に対する糖質の量が適切でないため、フィルムにならず、7倍から17倍の範囲では糖質の量に大きな差異がないため、繊維量と強度が比例したと考えられる。

4-4 その他のフィルムの特性

糖分のその他の働きには、水分の保持、防腐、でんぷんの老化抑制があることが分かっている。実験内で最も早く作ったフィルムの生成から8か月以上たった現在でもフィルムに劣化は見られない。フィルムに防腐剤は添加していないため、繊維の結合は劣化していないと思われる。また、フィルムのステンレス版と接する面に光沢がみられるのだが、これも糖分の保水性によるものだと考えられる。

5. まとめと今後の課題

ニンジン材料として、野菜フィルムの繊維量と強度の関係を調べ、以下の知見が得られた。

繊維量の増加により野菜フィルムの強度は大きくなると判明した。しかし、希釈の程度が17倍以上、7倍以下の場合には繊維量と強度には関係性が見られなかった。それにはる液に含まれている糖分がノリとしての役割を果たし、野菜フィルムの強度に大きく貢献している

ことが関係していると思われた。

実験内で強度と繊維の関係性が見られた、希釈の程度が7倍以上17倍以下の場合、希釈の程度が大きくなるにつれて繊維同士の絡みが弱く表面に空洞や凹凸が増加した(図5)。

しかし、電子顕微鏡の倍率がやや小さく、尺度による繊維の長さの違いや空洞や凹凸の数の違いや繊維同士の絡み方の特徴などがはっきりと分からず、希釈度の違うフィルム同士の比較が十分ではなかったため、より大きい倍率での電子顕微鏡で野菜フィルムを観察しなければならない。

実験により糖分が繊維同士の強度を強めていることが考えられたが、希釈の異なるそれぞれのフィルム同士での具体的な数値が求められていないため、強度と糖分量との比例関係の有無などが不明だ。しかし、野菜フィルムに糖分が含まれているのかはヨウ素デンプン反応により裏付けすることができ、糖分量の具体的な測定方法を考案できなかったため考慮する必要がある。

今回の研究でニンジンを使用しフィルムを作製することに成功した。今日、世界では廃棄物の増加やプラスチックの使用過多が訴えられる中、私たちにはこの問題を解決しなければならない。そこで、やがて家庭などから出る廃棄物を使用しプラスチックに代わるフィルムを作製するために、予備実験で未完成に終わったニンジン以外からフィルムを作製する方法を解明しなければならない。今回糖分がフィルムの強度に関係すると得られたことを活かし、糖分が十分に含まれていないものから強度が大きいフィルムを作製する方法を創案する必要がある。

6. 謝辞

京都府立大学 細谷 憲 先生に電子顕微鏡による測定にご協力いただきました。

7. 参考文献

- 1) 能木雅也, Department of Functionalized Natural Materials ISIR, Osaka University, <http://www.nogimasaya.com/research/>, 2022. 01.20
- 2) 実教出版編修部, 2020, オールガイド 食品成分表 2020, 実教出版株式会社, 406p

8. 添付資料

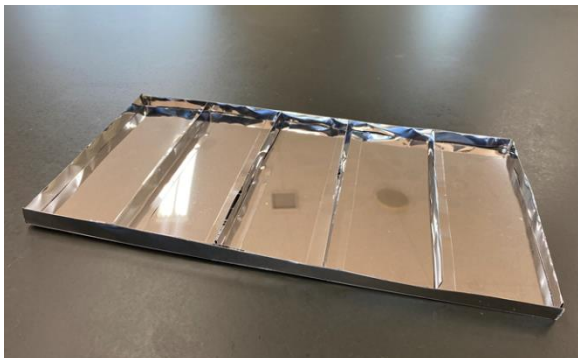


図1 ステンレス板で作った型

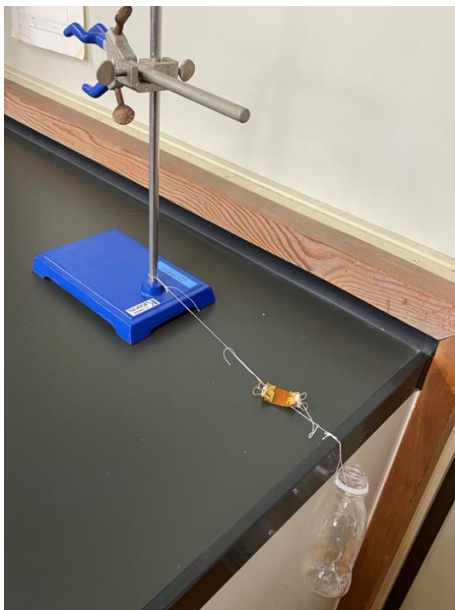


図2 強度測定装置

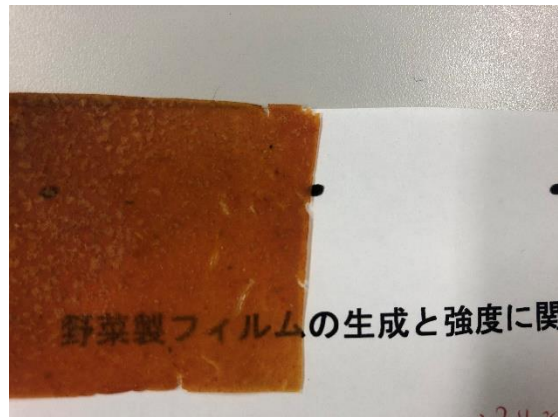


図3 透明度のあるフィルム

ヤセウツボ *Orobanche minor* の発芽・成長条件の研究

田村亜紀 中原英莉香 村井祥真 山本理

要旨

本研究では、寄生植物であるヤセウツボが、発芽および寄生する条件について調べた。

実験は二回行い、一回目の実験では発芽しなかったが、二回目の実験で 25°C、2 週間の休眠打破を行ったことで発芽した。また、18°C または 25°C において、アカツメクサを宿主とした場合の発芽率は 43%、シロツメクサを宿主とした場合は 16%であった。宿主の生育状態と発芽率の関係などに関しては、発芽は宿主の生育具合によらないことも分かった。

1. はじめに

ヤセウツボ *Orobanche minor* はハマウツボ科の寄生植物で、日本では本州、四国、および九州の一部に分布している。草丈は 15~40cmほどで葉緑体を持たないため、褐色である。マメ科、セリ科、キク科などの幅広い植物に寄生して、牧草の減収などの被害をもたらしている¹⁾。我々は植物が寄生する仕組みに興味があったため、寄生植物が、どのように宿主に寄生しているのかを観察しようと考えた。ヤセウツボは京都にも自生しており、宿主もクローバーなどの身近な植物であるため、これを研究対象に選んだ。ここではヤセウツボが発芽する条件を調べることで、ヤセウツボが発芽しない、もしくはしにくい条件を見出すことで、農業においてヤセウツボの被害を減らせると考えた。

2. 材料・研究方法

2-0. 実験準備・材料

ヤセウツボの種は、明治大学農学部瀬戸義哉准教授から恵与していただいた。宿主としては、シロツメクサ *Trifolium pretense* とアカツメクサ *Trifolium repens* を、直射日光のあたる場所、常温で種から育てたものを使用した。発芽要因として根粒菌の有無も考えられたので、市販の根粒菌を購入して利用した。その他にプ

ラスチックシャーレ (直径 90mm)、ロックウール ((株)大和プラスチック)、ガラス繊維ろ紙 (Whatman GF/A 90mm)、はんだごて、恒温機、人工気象器を用いた。

実験では、シャーレの上下にはんだごてで 1 cm ほど穴をあけて、シャーレの半分の厚さ(約 5mm)のロックウールをしきつめた。その上に ガラス繊維ろ紙^{a)} をのせて宿主とヤセウツボの種子をのせ、アルミホイルで包んで^{b)}、人工気象器に立てて置いた (図 1)。一週間に一度、ロックウールが十分湿る量のイオン交換水 (以降、水と表記) を与えた^{c)}。

- ろ紙を置くのは、ヤセウツボの寄生が観察をしやすくなるためである。紙製より丈夫でふやけないため、ガラス繊維ろ紙を用いる。水を入れたときにろ紙上に水が溢れないよう、ろ紙の円周の一部を切り取った。これは、ガラスろ紙上に水をやると表面のヤセウツボが流されてしまうからである。
- 暗くすることで地中の環境を再現している。
- ヤセウツボの種が流れ出す可能性があるため、水はロックウール側に与えた。

2-1. 発芽実験①

まず、ヤセウツボの成長に気温、水の量、土の栄養状態がどのように影響を与えるのかを調べた。土地の栄養状態を変えるために植物の3大栄養素であるリンと窒素を含むリン酸二水素ナトリウム (NaH_2PO_4) 水溶液と硝酸ナトリウム (NaNO_3) 水溶液を一部に使用した。なお、リン酸欠乏下では、ヤセウツボに対する発芽刺激活性が低下することが報告されている²⁾。実験①は室温^{d)}で実験を行い、ヤセウツボには休眠打破処理を施していない。また宿主には全てシロツメクサ(以下 A とする)を用いた。

まず、根粒菌をもつ(①, ②), 根粒菌をもたない(③, ④)をそれぞれ二個ずつ作成し、一週間後^{e)}に根粒菌をもつ(⑤, ⑦), 根粒菌をもち、リン酸二水素ナトリウム水溶液^{f)}を加えた(⑥), 根粒菌をもちが水は少量しか与えないようにした(⑧), 根粒菌をもちが18°C^{g)}で育てた試料(⑨)を追加した。

更に11日後^{e)}に、②と同じ(⑩, ⑪), ⑥と同じ条件(⑫, ⑬), ⑨と同じ条件(⑭, ⑮), 根粒菌をもち、硝酸ナトリウム水溶液^{h)}を加えた A を2個ずつ(⑯, ⑰)追加した。宿主の草丈は約12 cm, 根長約9 cm, 発芽後約20日のものを使用した。

それぞれ種類に分けると

- ①, ②, ⑤, ⑦, ⑩, ⑪→根粒菌あり
 - ③, ④→根粒菌なし
 - ⑥, ⑫, ⑬→根粒菌あり, リン酸二水素ナトリウム
 - ⑧→根粒菌あり, 水少
 - ⑨, ⑭, ⑮→根粒菌あり, 18°C
 - ⑯, ⑰→根粒菌あり, 硝酸ナトリウム
- となる。

d) 直射日光が直接当たる校内廊下で実験を進めている。実験を行ったのは9~10月

で、平年より気温は高めであった(20°C~30°C)。

- e) 登校日の関係による。
- f) 0.06 g/L Na_2PO_4
- g) 常に蛍光灯が点灯している恒温器(18°C)
- h) 1.63 g/L NaNO_3

2-2. 発芽実験②

実験①では、発芽が確認できなかった(結果3-1)ため、発芽実験②を行って、ヤセウツボが発芽、成長する環境を確かめた。

まず、ヤセウツボの種子を25°Cで2週間処理(休眠打破)した。

次に休眠打破を施したヤセウツボが蒔かれているシロツメクサおよびアカツメクサを6個体ずつ用意し、気温を18°Cまたは25°Cに保った恒温器に静置して約2週間後に双眼実体顕微鏡で観察した。

また、アカツメクサの種子とヤセウツボを同時に播種したものも用意した。

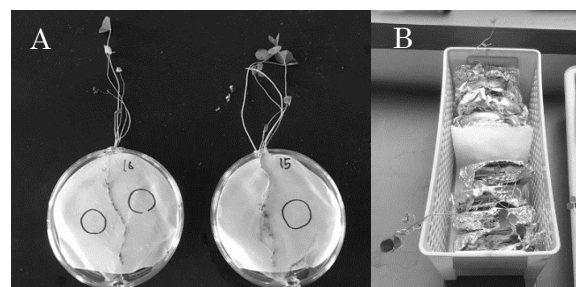


図1. 実験方法

実験時の状態を撮影した(A)。この状態にさらにアルミホイルを巻き、立てて放置した(B)。

3. 結果

3-1. 結果 発芽実験①

いずれのシャーレでも発芽は見られなかった。宿主の状態を表1に示す。

表 1. 発芽実験①の結果

発芽実験①における宿主の状態を示す。宿主が生きていた場合「○」、枯れていた場合「×」と示す。①～④は実験開始から 32 日後、⑤～⑨は 25 日後、⑩～⑰は 14 日後に観察した。個体識別番号の隣に実験の条件を示す。「菌」は「根粒菌による根粒」を示す。

個体番号	①	菌有	②	菌有	③	菌無	④	菌無	⑤	菌有	⑥	P	⑦	菌有	⑧	水少		
宿主の状態	○		○		×		×		×		×		○		×			
個体番号	⑨	18°C	⑩	菌有	⑪	菌有	⑫	P	⑬	P	⑭	18°C	⑮	18°C	⑯	N	⑰	N
宿主の状態	○		○		×		○		×		×		○		×		×	

3-2. 結果 発芽実験②

実験を開始してから 18 日後に観察し、1～3, 5, 7～12, および 13 番の発芽を確認した(図 2)。13 番は宿主としてアカツメクサの種を播種したものである。実験開始から 30 日後にヤセウツボの発芽数を数え、以下の式により発芽率を算出した。

$$\text{ヤセウツボの発芽率 (\%)} = n/N \times 100$$

ただし、n:発芽したヤセウツボの種子数、
N:発芽床に蒔いた種子数 とする。

算出した発芽率を表 2a, 表 2b に示す。その後、実験開始から 51 日後に 6 番の発芽を確認した。

また、実験開始から 44 日後に 3 番のシロツメクサの根に金平糖のような黄色い粒が 1 つ発生していることを確認し(図 3)、51 日後には 2 つ目が発生していることを確認。58 日後には 2 つ目の粒がさらに成長していることを確認した(図 4)。

観察時、宿主 2, 4, 5, 6, 7, 12 はしおれかけていた。

表 2a. 発芽実験②の結果 (シロツメクサ)

発芽実験②におけるシロツメクサを宿主としたヤセウツボの発芽率を示す。1～5 は 18°C に、6 のみ 25°C に保った恒温器内に保存した。

個体番号	1	2	3	4	5	6*
発芽率 (%)	28	30	34	0	5	10

*6 番のみ実験開始後 51 日後に測定

表 2b. 発芽実験②の結果 (アカツメクサ)

発芽実験②におけるアカツメクサを宿主としたヤセウツボの発芽率を示す。7 のシャーレは 25°C に、8～13 は 18°C に保った恒温器内に保存した。13 はアカツメクサの種をシャーレに直接おいた。アカツメクサの種子は発芽し、観察時には丈 1 cm に成長していた。

個体番号	7	8	9	10	11	12	13(種)
発芽率 (%)	25	54	67	60	25	33	36

4. 考察

実験①は、全条件下で発芽なしとなったため、気温やリン・窒素の有無がヤセウツボの発芽に与える影響は不明であった。実験②の結果から、実験①で発芽が見られなかったのは、気温が 18°C であったことや、宿主の根と種子が離れすぎているためではなく、休眠打破が発芽に必要であったと考えられた。また、宿主のアカツメクサが発芽直後草丈 1cm (表 2 の個体 13) でも発芽が見られたことから、宿主の大きさによらず発芽すると考えられた。さらに、宿主としてはアカツメクサの方がシロツメクサよりも発芽率が高かった。

5. まとめと今後の課題

ヤセウツボの種子は、2 週間ほど 25°C 程度の環境に置かれることで発芽が促され、その後は 18°C、25°C の両方で発芽した。またシロツメクサとアカツメクサの両方を宿主として認識した。

今回の実験では、宿主が枯れかけていても宿主がよく生育しているものと同じ、またはそれ以上の発芽率が見られた。枯れかけている宿主に寄生しようとするのは合理的とは言えず、周囲の水分量が発芽率に影響しているのかは明らかではない。また、今回使用した宿主では、シロツメクサよりアカツメクサの方が発芽率が高かった。今回の研究ではサンプル数が少ないことや時間の制限からこのことについて十分な実験ができなかった。なぜこのような差が生じたのかを調べることも今後の課題である。

ヤセウツボの生態に関して詳しく調査することはできなかったが、今回の研究で実験室においてヤセウツボを育てる方法を見出すことができた。これが今後の研究の一助になると期待している。

6. 謝辞

本研究では明治大学農学部農芸化学科生物機能科学研究所 瀬戸義哉准教授に種子の恵から研究方法のアドバイスまで、多大なご協力を頂きました。深く感謝いたします。

7. 参考文献

- 1) 国立環境研究所, 侵入生物データベース ヤセウツボ, <https://www.nies.go.jp/biodiversity/invasive/DB/detail/80370.html>, 2022. 2. 3
- 2) 根寄生植物の宿主認識に関する研究 <https://agriknowledge.affrc.go.jp/RN/2010793081.pdf>, 2022. 2. 3
- 3) ヤセウツボ (*Orobanche minor* Smith) 種子のコンディショニングに対する高温障害 https://www.jstage.jst.go.jp/article/weed1962/45/Supplement/45_Supplement_74/_article/-char/ja/, 2022. 2. 3

8. 添付資料



図 2. 発芽したヤセウツボ

発芽したヤセウツボの種子を双眼実体顕微鏡を通して撮影した.



図 3. シロツメクサの根についている粒

ヤセウツボが寄生する際にみられるものだと考えられる (図の円の内側). 実験開始から 44 日後に双眼実体顕微鏡を通して撮影.

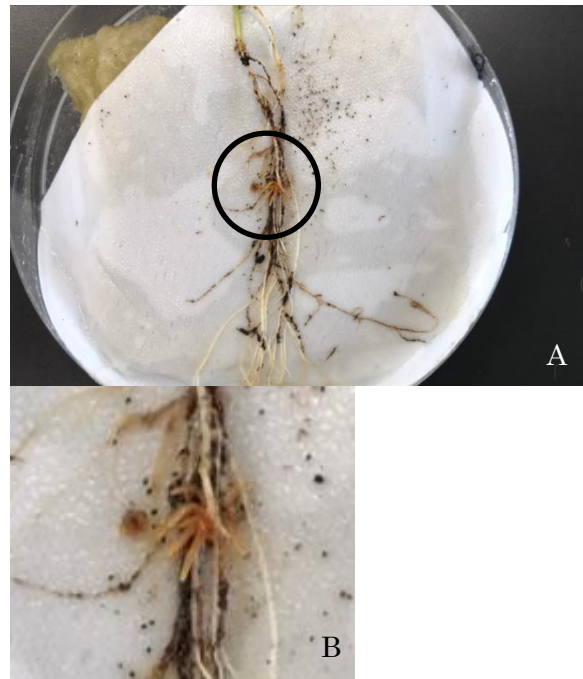


図 4. 成長したヤセウツボ

A: 根全体の写真.

B: ヤセウツボのものと考えられる根の写真 (A の円内を拡大).

ニンジンジュースとキニジン硫酸によるナメクジの記憶実験

伊串洛奈 井上綾 加来陽香

要旨

チャコウラナメクジ *Ambigolimax valentianus* (以下ナメクジと記す) の記憶について調べてヒトの記憶に応用することを目的として、ニンジンジュースとキニジン硫酸を用いたナメクジの記憶実験を行った。ニンジンジュースはナメクジの餌として用いた。キニジン硫酸はナメクジにかけるとナメクジが忌避行動を示す物質であり、ナメクジに不快な感覚を与える物質として用いた。餌の投与とキニジン硫酸の投与を組み合わせ、ナメクジのキニジン硫酸による「嫌な記憶」によってナメクジの忌避行動が持続する時間を調べたところ、ナメクジの「嫌な記憶」の持続期間に個体差はあるものの3時間以上であることが分かった。

1. はじめに

カタツムリ *Stylommatophora* の脳の記憶の仕方を調べ、その結果をヒトの記憶に応用しようとする研究がある¹⁾。ナメクジの脳には左右に一对の前脳葉が存在し、これが記憶の貯蔵や高次嗅覚機能を担っている。この前脳葉は損傷、欠損を被っても神経新生を介して回復することができる。ナメクジを含む軟体動物門腹足綱の中核神経系はゲノムを大幅に増やし、タンパク質などの物質合成能を高めるニューロンが多数存在しており、これによって損傷、欠損した前脳葉や触角を1ヶ月ほどで回復させることができる。

カタツムリとナメクジ *Ambigolimax valentianus* は同じ腹足類柄眼目であり脳の構造も似ているため、カタツムリと同様にナメクジの記憶方法もヒトに応用できると考えられる。ナメクジには負の走光性があるため、大触角の先端の目のほか脳の視物質タンパク質であるオプシンを用いて明るさを感じし暗いほうへ移動しようとする。また、ナメクジには食べてまずかったものの匂いを学習し、それに近づかなくなる性質がある。これらの習性を利用して、ナメクジにとってキニジン硫酸水溶液が忌避物質、ニンジンジュースが好物であると示し、条件付けによる記憶実験が行われてい

る²⁾。ナメクジの記憶は数週間持続する³⁾と言われており、これを参考にして、ニンジンジュースとキニジン硫酸を用いたナメクジの記憶実験を行うことにした。

2. 材料・研究方法

2-1. 材料

ナメクジは洛北高校及び著者らの家庭で6月から11月に採取したチャコウラナメクジを用いた。ナメクジの体サイズは2~11cmであった。キニジン硫酸水溶液は、重量パーセント濃度1%に希釈して使用した。ニンジンジュースは、市販のニンジンを乱切りし、水とともにミキサーにかけたものを用いた。

2-2. 飼育と実験の方法

【飼育方法】

ナメクジは、縦9cm、横15cm、高さ13cmの飼育容器に最大10頭を入れて飼育した。飼育容器は19°Cに保温した人口気象器の中で保管した。気象器及び飼育容器に暗幕などは掛けなかったため、飼育容器の中は日中、蛍光灯及び差し込む太陽光によって明るくなっていた。

飼育容器内の保湿のために湿らせたティッシュペーパーと、餌としてレタスやニンジンなどの野菜

のほか、タンパク質不足を補うために乾燥した麩を与えた。また1日1回霧吹きで容器内を湿らし、ナメクジの乾燥を防いだ。

【実験方法】

ナメクジを飼育容器からシャーレに移し、2分間待った。ナメクジの前方2 cmの所にニンジンジュースを1滴垂らし、ナメクジがニンジンジュースを飲んだら、キニジン硫酸水溶液をかけて記憶付けを行った。その後ナメクジを飼育容器に戻し、30分間待った。その後、再びナメクジを飼育容器からシャーレに移し、2分間待った。ナメクジの前方2 cmの所にニンジンジュースを1滴垂らし、3分間観察した。

3分以内にニンジンジュースを飲んだ場合は再びキニジン硫酸水溶液をかけ、飲まなかった場合はキニジン硫酸水溶液をかけずに、飼育容器にナメクジを戻した。それを7回繰り返した。なお、スタートから7回目の操作が終了するまでの合計時間は約3時間半であった。

実験には、2個体のナメクジを用いた。それぞれ別のシャーレを使った。

3. 結果

【飼育の結果】

半年ほど続けて、合計80個体以上の個体を飼育したが、ほとんどの個体が途中で死んでしまった。乾燥や餌の不足、寿命、病気、飼育容器の蓋の隙間から脱走したことなどが原因と考えられる。

【1個体目】

全7回の実験の操作を通して、ニンジンジュースを飲まなかった。1回目はニンジンジュースの前まで進んだが一度止まり、避けて進んだ。2回目以降はニンジンジュースに近づかないようになり、6および7回目にはほとんど動かなかった。

【2個体目】

1および2回目では3分間はニンジンジュースを飲まなかったが、3回目の実験で1分30秒後にニンジンジュースを飲んだので、再びキニジン硫酸水溶液をかけた。その後、4~7回目では3

分間ニンジンジュースを飲まなかった。

4. 考察

1個体目は7回の実験全てでニンジンジュースを飲まなかったため、キニジン硫酸水溶液が忌避物質であるという記憶を少なくとも3時間半持続させることができたと考えられる。2個体目は4回の実験でニンジンジュースを飲まなかったため、2時間持続させることができたと考えられる。これらの結果は、先行研究³⁾でナメクジが学習したことは数週間記憶されるという記述にあてはまる。

今回の実験では3時間半という短い期間での実験のみ行ったため、より長い期間でのナメクジの記憶の持続性については、わからないままである。そのため今後の課題としては、先行研究にあったように2週間記憶を持続させることがあげられる。また、キニジン硫酸によってニンジンジュースを嫌うように条件付けをした後、暗い場所にニンジンジュースを置くと暗い場所を避けるのかという、負の走光性と忌避行動の優先度についても調べたいと考える。

飼育過程でナメクジが死んでいる理由については、夏場に飼育容器に入れていた野菜が腐りかけていたこと、掃除の頻度が低く、ナメクジの排泄物にカビが生えていた可能性があること、飼育容器を置いていた実験室の蛍光灯及び日光により飼育容器の中が日中は常に明るくなっており、ナメクジにストレスがかかったことなどが考えられる。また、実験を行う際や、掃除の際にナメクジを飼育容器から出し入れすることが過度なストレスになっていたことも考えられる。

飼育中に多くのナメクジが死んでしまったため、飼育方法の改善をしなければならない。具体的な方法としては、本来のナメクジの生育環境に近付けるため、飼育容器に暗幕をかけるなどして暗い環境を作ることや、餌の栄養バランスを考え直すなどのことがあげられる。

5. 参考文献

- 1) CNN, 2018. 5. 18, カタツムリの記憶を「移植」、人間への応用可能性も？ 米研究, CNN, <https://www.cnn.co.jp/fringe/35119391.html>, 2022. 1. 27
- 2) 松尾亮太, 2020, 考えるナメクジ, さくら舎, 79 - 91
- 3) GetNaviweb, 2021. 3. 25, 脳も再生可能!? 実は賢いナメクジの秘密に迫る—『考えるナメクジ—人間をしのぐ脅威の脳機能』
<https://getnavi.jp/book/585129/>, 2022. 2. 3

真正粘菌の記憶の優先度

～ 温度と湿度どちらが大切？ ～

伊原嵩豊 北村優真

要旨

真正粘菌が記憶をどのように持ち、受け継がれていくのかを調べた。真正粘菌の一種であるモジホコリ *Physarum polycephalum* は記憶を持つことが知られており、中でもどのような記憶が優先的に受け継がれていくのかに注目した。周期的に温度と湿度を変化させて培養し、その周期を記憶させたモジホコリの変形体を用意した。異なる記憶を持つ変形体どうしを融合させ、どちらの記憶が優先的に受け継がれているのかを観察した。

1. はじめに

真正粘菌はアメーバの仲間であり数億年前からその姿を変えることなく生存してきた。変形体では水や餌を求めて移動し、環境が悪くなると子実体を形成し孢子を作って飛散する。また近年の実験により真正粘菌は迷路を解く、記憶を持つなどの興味深い行動が明らかになった。真正粘菌が長い間生き延びてきたのには、このような性質が関係していると考えた。真正粘菌が単細胞生物であるにもかかわらずこのような行動をとることに興味をもち、また比較的最近になって研究がされ始めた分野であるので、未知の性質がまだ多く存在していると考え実験を始めた。研究に用いたモジホコリは室温では寒天培地上を 1 時間に平均 1 cm 動くが、気温を下げ、乾燥させると動きを止める。そして気温が元に戻ると動き出す。中垣ら¹⁾によると低温・乾燥の環境下に 1 時間おく処理を周期的に 2 回か 3 回繰り返した後、しばらくそのままにしておくと、実際に低温・乾燥処理がなくても、以前に環境が処理したタイミングに合わせるように動きを止めることがわかっている。この研究をもとにして私たちは気温・乾燥に対する記憶の優先度を調べることにした。



図 1. モジホコリの生活環²⁾

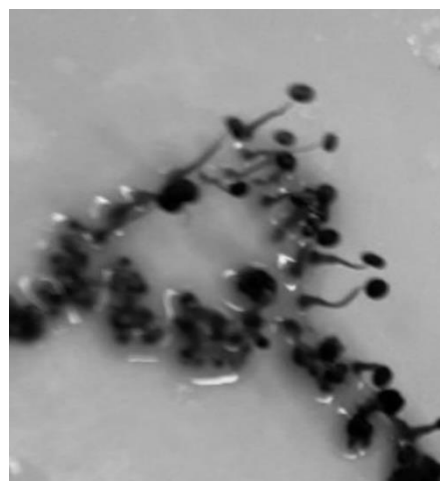


図 2. モジホコリ(子実体)

2. 材料・研究方法

2-1. 材料

モジホコリ, オートミール, 2%の培地用寒天M B - 10 (伊那食品工業変形式会社製), オートクレーブ, 恒温器, 蒸留水, 霧吹きを使用.

2-2. 記憶に関する実験

モジホコリの変形体を 25°C で増殖させ, 変形体 A, B, C を用意した. 周期的な低温または乾燥のみの条件下で培養し, その移動と停止の周期的な行動がみられるかを確認する実験を行った. 培養温度を 25°C から 4°C, 10°C, 15°C と 18°C の各温度に下げる処理を行った. 4°C に温度を下げたときのみ変形体の移動が停止したので, 変形体 A は 25°C で培養を行い 1 時間ごとに 4°C に温度を下げ (低温処理), 再び 25°C に戻す処理を繰り返し行った. また別の変形体 B には 25°C で培養を行い, 1.5 時間ごとにドライヤーの冷風で乾燥させ湿度を下げた (乾燥処理). その後霧吹きで蒸留水を与え湿度をもとに戻す操作を繰り返し行った (図 3). 変形体 C は常に 25°C, 湿潤状態で培養した.

3. 結果

変形体 A は 1 時間ごとに約 1 cm ずつ移動したが 4°C の低温処理を行ったときはほとんど移動しなかった. また変形体 B は 1.5 時間ごとに約 1 cm ずつ移動し, 湿度を下げたとき少しだけ移動した. 低温処理を行った変形体 A では無処理 (25°C, 湿潤) でも周期的に動きを止めたのに対し, 乾燥処理を行った変形体 B では無処理での周期的な行動は見られなかった (図 3 参照).

4. 考察

変形体 B が乾燥処理を行っても周期的な行動が観察できなかったのはドライヤーで冷風を当てると時間が短く, 乾燥が不十分であったことが原因でそれにより記憶されなかったのだと考えられる. 生物は生存に必要な条件をより優先的に記憶す

ると考えられる. 粘菌を培養してきて乾燥によって死んでしまうことが多かったので, 温度より湿度のほうがより優先的に記憶されると予想される.

5. まとめと今後の課題

今までの実験では温度による記憶の定着しか確認できていない. まだまだ研究目的を達成できるような実験をできていないので, 一つでも多くの実験データをとることが課題である. 湿度を下げる変形体 B の実験は記憶の定着がまだ成功していないのでまずは確実に実験を成功できるようになりたい. その後, 研究目的に沿った実験を行う予定である. 具体的には二つの個体を融合させてどうなるかを観察する実験を行う. 中垣らの研究¹⁾によると変形体 A および B はそれぞれ 1 時間, 1.5 時間ごとに動きをとめるはずであるので, これらの二つを融合した変形体はどのように移動するのかを観察することで気温か湿度のどちらの状況の記憶が優先されるかを観察する. また何も操作を行っていない変形体 C を用意し, 変形体 A と変形体 B, 変形体 A と変形体 C, 変形体 B と変形体 C をそれぞれ融合して, どのタイミングで移動が停止するのかを観察する (図 4 参照).

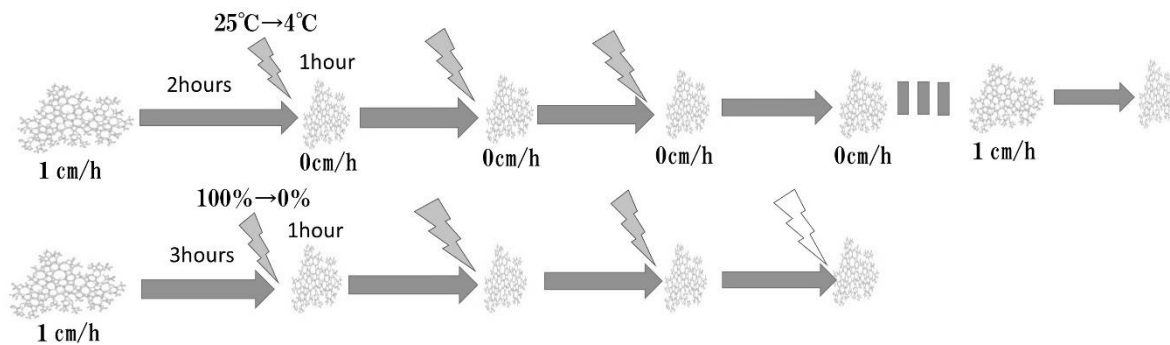


図3. 記憶に関する実験

二つの変形体に周期的な低温処理(上), 乾燥処理(下)をそれぞれ行い, 異なる記憶をもつ変形体を得た.

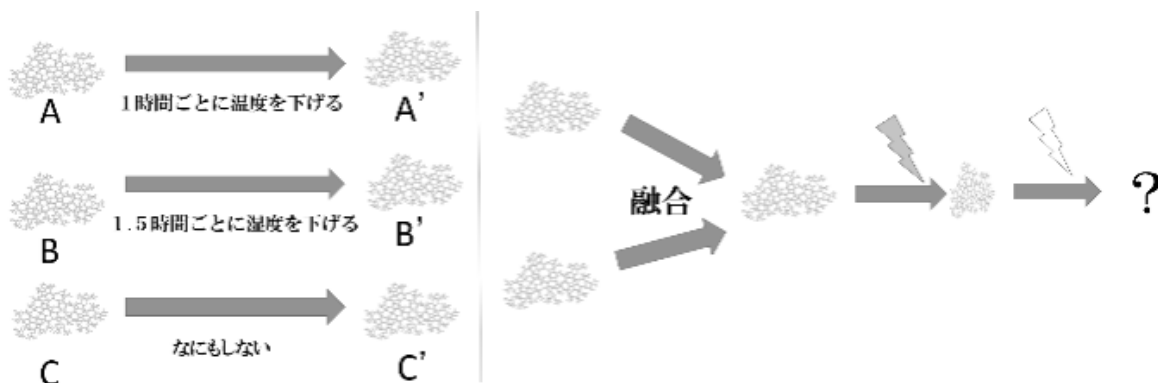


図4. 記憶の優先度を調べる実験

異なる記憶をもつ三つの変形体を用意し, 融合後の変形体がどの記憶をもつのかを確認する.

6. 謝辞

南方熊楠記念館の高垣誠館長, 三村宜敬学芸員, 筑波大学生命環境科学研究科の出川洋介准教授, 吉橋佑馬氏にはモジホコリを提供していただき, また培養に関する助言をいただきました. 感謝を申し上げます.

7. 参考文献

- 1) nature careers, 2008. 11. 27, <https://www.natureasia.com/ja-jp/jobs/tokushu/detail/130>, 2021. 7. 24
- 2) 加茂野晃子, 2007, <http://www.lowtem.hokudai.ac.jp/newsletter/no24/4.html>, 2021.2.

8. 添付資料

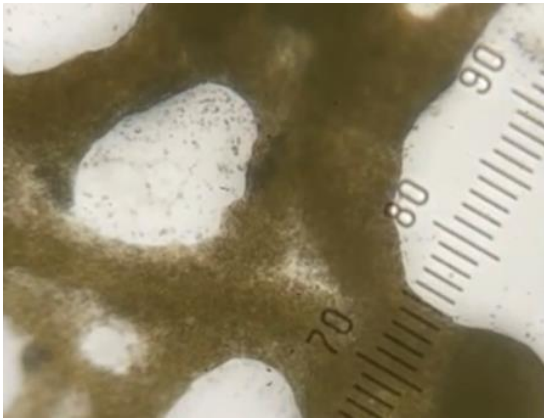


図 5. 細胞質流動の様子

変形体の内部を細胞内の栄養分や老廃物の循環が行われている。光学顕微鏡により 150 倍で観察。

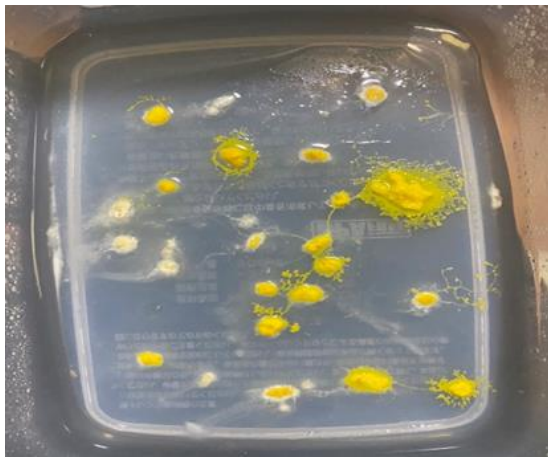


図 6. モジホコリ (変形体) の培養の様子

モジホコリの変形体を寒天培地上でオートミールを与えて培養した。黄色い部分がオートミールを摂食している変形体である。



図 7. モジホコリ (変形体) の移動の様子

ゼブラフィッシュの空間認識能力

小田垣洋輝 楠本啓悟 谷典馬 根来修

要旨

ゼブラフィッシュ *Danio rerio* の空間認識能力及び記憶力がどの程度なのかを調べた。空間認識能力とは、穴のある 2 枚の仕切りと仕切りを設けた水槽に、はじめて投入されたゼブラフィッシュが餌のある位置まで穴を通り抜けて到達できる能力として定義した。また、繰り返し計測を行うことにより短時間で餌のある位置まで到達できる能力を記憶力と定義し、計測を行った。

1. はじめに

迷路を用いたダンゴムシ

Armadillidium vulgare の記憶実験から¹⁾、脊椎動物ならば平面ではなく 3 次元的な空間を把握、記憶することができるのではないかと考え²⁾、脊椎動物の記憶力、空間認識能力に関心を持った。そこで本研究では、脊椎動物のモデルとして、生物実験室ですでに飼育されているという入手のしやすさ、そして飼育の容易さからゼブラフィッシュを用いた。

予備実験では、無色透明なアクリル板で部分的に仕切り、ゼブラフィッシュが餌まで直線的に移動することができない水槽を用意した。その水槽にゼブラフィッシュを 10 個体投入し、餌を入れる位置を固定することで、ゼブラフィッシュが水槽内の構造を記憶し、餌にたどり着くまでの時間に短縮がみられるかどうかを検証した。この実験ではゼブラフィッシュを 1 カ所に集めることはしなかった。その結果、餌との間に仕切りが存在する位置にいた個体は仕切りに衝突し続け、すぐに餌に到達することはできず、また実験回数を重ねても餌に到達しない個体が一定数存在した。この結果から、ゼブラフィッシュは無色透明なアクリル板による仕切りを視認できず、また視認できない情報は記憶することが困難であるとの仮説が得られた。そこで、本実験では無色透明なアクリル板で仕切った水槽と

白色で不透明なアクリル板で仕切った水槽の 2 種類を用意し、比較することで記憶力に関する知見を得ることを目的とした。また、予備実験においては空間認識能力についての測定は困難であったため、本実験ではゼブラフィッシュが餌にたどり着くまでに仕切りを通り抜けなければならない定位置を定め、必ず定位置にゼブラフィッシュがいる状態から計測を開始することで、空間記憶能力と認識力を別のものとして個々に結果を出せるように工夫した。

2. 材料・研究方法

実験① 30×20.5×25 cm の水槽にゼブラフィッシュの通り抜けられる直径 4 cm の穴をあけた厚さ 1 cm のアクリル板を仕切りとして水槽内に 2 枚等間隔に配置した。ゼブラフィッシュを水槽内の 1 方の端の空間に入れ、もう 1 方の端の空間に餌を入れた。そして、一方の端の空間から 2 つの穴を通り抜け、もう一方の端の空間まで到達するまでの時間を調べた。仕切りの素材は無色透明なアクリル板を用いた。以下、無色透明な仕切りを設置した水槽での計測を実験①とする。

実験② 仕切り板に白色で不透明なアクリル板を用い、実験①と同様の構造になるように水槽に設置した。以下、白色で不透明なアクリル板を配置した水槽での計測を実験②とする。

実験③ 実験①の無色透明な仕切りに開けた穴の周りを白色のアクリルボンドで縁取りし、同様に実験した。これを実験③とする。

実験④ 水槽は実験②で用いたものを加工した。実験②の白いアクリル板の仕切りの上部に高さ3 cm の無色透明なアクリル板を接着した。水量を増やして、水面が無色透明なアクリル板より高く、透明なアクリル板の上端より数センチ低くなるようにした。その他の条件は実験③と揃え、これを実験④とする。

不透明なアクリル板で仕切った水槽ではゼブラフィッシュが餌を視認することが困難であると考えられたため、4つの実験すべてにおいて餌を入れた後に、水槽の縁を金属製のスプーンでたたいて音を出し、餌が入ったということを視覚以外で理解できるようにした。①～④の実験ではそれぞれ1個体のゼブラフィッシュを用いた。

3. 結果

実験①と②の結果は図1のようになった。

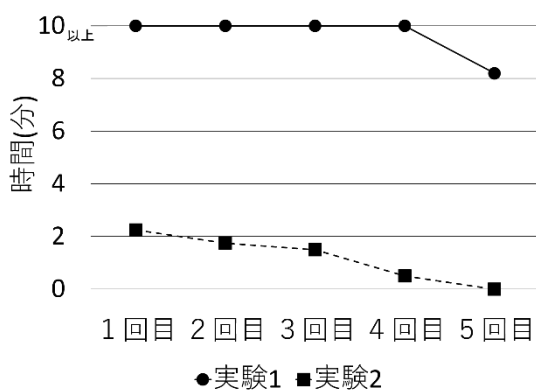


図1 実験①、②の計測結果

実験①では餌にたどり着くまでの時間の短縮は見られなかった。餌を入れた直後にゼブラフィッシュは餌のある方向に直線的に移動し、しきりにアクリル板に衝突していた。実験回数を重ねても、この行動に変化は見られなかった。1枚目のアクリル板を通過するのにかかる時間と2枚目のアクリル板を通過するのにかかる時間に差は見られな

かった。また、1枚目のアクリル板を通過しても餌のある空間に向かわずに、もといた空間に戻ることがあった。餌にたどり着くまでに10分以上かかることが実験①の8割を占めた。

図1のグラフ上では10分間以上の所要時間を「10分以上」としてまとめているが、実験①では、計測のたびに、到達までの時間に10分以上の大幅な差が見られた。また、到達までの時間は短縮することもあったが、増加することもあった。そのため、実験①の5回目では4回目の計測と比較して、所要時間の短縮が見られたが、実験①ではこれは誤差や偶然として扱い、記憶あるいは学習による所要時間の短縮ではなかったと判断した。

実験②では餌にたどり着くまでの時間は回を重ねる毎に減少した。初回の計測では餌にたどり着くまでに72秒かかった。5回目の計測では38秒で餌にたどり着いた。毎回、その前回の秒数を下回っていた。餌を入れた直後に餌の方向に直線的に進むことはなく、アクリル板に衝突することもなかった。また、1枚目のアクリル板を通過すると初めにゼブラフィッシュがいた空間に戻らずに2枚目のアクリル板を通過した。1枚目のアクリル板を通過するのにかかった時間よりも、1枚目を通過してから2枚目のアクリル板を通過するまでにかかった時間のほうが、目視による観察の結果では短かった。実験③では①と同様にアクリル板に衝突する行動が観察された。実験③では計測を3回行ったが、3回とも餌にたどり着くまでに10分以上を要した。

実験④では、餌を入れていない状態であるとき、目視による観察ではアクリル板に衝突せず、穴を通り抜けることができるという結果が得られた。また、穴を通り抜ける頻度は実験②とほとんど同じだった。しかし、餌を入れた後の行動を同様に観察したところ、ゼブラフィッシュは仕切り上部の無色透明なアクリル板を取り付けた部分に衝突している様子が見られた。また、この実験では3回の計測を行ったが、いずれの場合も餌にたどり着くまでに、すべての個体が10分以上を要した。

表 1 実験①～④の結果一覧

	10 分以内 に餌に到 達した	餌を入れ た時にアク リル板に衝 突した	入れた餌 をすぐに 視認でき た	餌を入れ た時に鳴 らした音に 反応した	穴の存在 を認識した	通常時ア クリル板に 衝突した	通常時ア クリル板を 行き来した
実験 1 透明な仕切り	No	Yes	Yes	Yes	No	No	No
実験 2 不透明な仕切り	Yes	No	No	Yes	Yes	No	Yes
実験 3 透明な板 + 白い縁	No	Yes	Yes	Yes	No	No	No
実験 4 不透明な板 + 上部に透明な板	No	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes

4. 考察

ゼブラフィッシュは水槽に餌を入れていない状態ではアクリル板に衝突することがなかったの
で、そのアクリル板が不透明でも透明でもアクリル
板が水槽にあることを認識していたと考えられる。

実験①と実験②の初回の記録を比べると、実
験①の方がかなり時間を要したことより、次の 2 つ
の仮説が考えられる。1 つ目は、そもそもゼブラフ
ィッシュは無色透明な仕切りの場合、穴を認識で
きないというものである。水流を感知することで穴
を認識しているという可能性も考えられるが、この
仮説は白色の仕切りの水槽と無色透明な仕切り
の水槽で穴を通り抜ける頻度に差があることを説
明できないので、ゼブラフィッシュに穴は見えてい
ないと考えられる。2 つ目は、餌という強い刺激が
あるとアクリル板が見えなくなってしまうというもの
である。

以上 2 つの仮説について、結果②と④より、上
部が無色透明なアクリル板であっても下部が白色
のアクリル板であれば穴を通り抜けることができ
るが、餌を投入すると上部の透明なアクリル板に衝
突するため、穴が視認できていないのではなく、

餌という強い刺激があるとアクリル板が見えなくな
ってしまうと推測できる。

この 5 回の実験の中では、①で所要時間の短
縮が見られなかった。また、②の所要時間は毎計
測ごとに短縮していた。この結果より、ゼブラフィ
ッシュには記憶力があり、空間を記憶することができ
るということが推測できる。また、空間構造を記憶
するためには構造を認識する必要があるため、ゼ
ブラフィッシュには空間認識能力があると推測で
きる。

5. まとめと今後の課題

ゼブラフィッシュは餌があるという刺激により判
断能力が低下すると考えられる。また、3 次元空
間を認識、記憶、学習できることが本実験より判断
できる。

今後の課題として、水槽 1 つ当たりゼブラフィ
ッシュ 1 個体のみで実験を行ったので、個体差に関
する考察が不十分である。よって、より多数のゼブ
ラフィッシュを用いた実験がこれから必要である。

また、今回の実験では記憶することが可能かの
結果を得ることができたが、記憶がどの程度持続

するのかを研究することにより、ゼブラフィッシュの記憶能力について、より詳細な結果が得られると考えられる。実験を行うスパンの変化による餌やり実験の結果への影響を考察することで、記憶の持続時間についての結果を得ることができると考えられる。

6. 謝辞

京都大学大学院情報学研究科の前川真吾先生にはゼブラフィッシュを用いた実験についての様々なアドバイスをいただきました。ここに記して謝意を表します。

7. 参考文献

- 1) *Armadillidium vulgare* の代替回転応答
<http://jlc.jst.go.jp/DN/JALC/00289519989?from=Google>
- 2) ゼブラフィッシュの放射状迷路遂行における順向性干渉
https://www.jstage.jst.go.jp/article/pacjpa/70/0/70_2EV093/_article/-char/ja/

カタバミとシロツメクサ、生命力の差とは？

～ 植生や生育環境の違いから考える ～

尾場海輝 河井康介 辻光平

要旨

カタバミ *Oxalis corniculata* とシロツメクサ *Trifolium repens* の相違点について方形区画を用いて比較しながら調べた。マメ科植物であるシロツメクサの地上部を刈り取ったシロツメクサは一週間足らずで生えてきた。一方で同様の処理をしたカタバミの区画では約一か月要したため、シロツメクサの草本はカタバミと比べ丈夫で、攪乱にも比較的強いということが分かった。

1. はじめに

カタバミとシロツメクサの二種は、花を除いた外観が互いにとても似ている(図 1)。しかし、カタバミは、カタバミ科カタバミ属であるのに対し、シロツメクサは、マメ科シャジクソウ属と、生物学的には全く異なっている。種が違うということは、いかに外見が似ていようと、生態や形態の面においてどこかに何かしら違いがある。この違いが具体的に何なのかを明らかにするために、予備調査として、鴨川の西岸と東岸にて、カタバミやシロツメクサがどのように分布しているのかを調べた。その結果、大まかな傾向として、カタバミは日陰の場所に単体で、シロツメクサは日向に群生している、ということが分かった。この傾向を基に、「シロツメクサとカタバミは生育環境のすみわけをしているのではないか」という仮説を立てた。しかし、複数の資料^{1,2)}によると、シロツメクサやカタバミはともに日向に生息する傾向があり、これは私たちの予備調査の結果と矛盾が生じている。また、研究を進めていくにつれて、「カタバミとシロツメクサが同じ場所に生えている」という事象が多く観察された(図 2)。私たちはこの実験を行う際、カタバミとシロツメクサの比較要素を、「日向か日陰か」と「群生しているか独立して生えているか」の二点しか挙げていなかったため、考慮していなかった他の要因により結果に差が生じたと思われる。

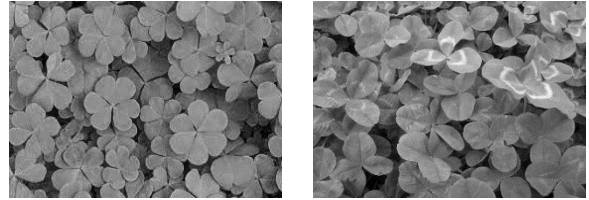


図 1. カタバミ (左) とシロツメクサ (右) の葉の様子

また、次に行った調査において、「カタバミが群生している場所において、5～6 月の間ではカタバミがその場所の優占種であり続けて 6 月以降はスズメノカタビラやオヒシバといったイネ科の植物の勢力に置き換わっていた」という傾向と、「シロツメクサは、カタバミの勢力が変化したこの時期においても株数を変化させることなくほぼ一定量を保ち続けていた」という傾向が分かったため、私たちは、その違いを明らかにするために研究内容を前述のものから「カタバミとシロツメクサの、攪乱に対する再生力の強さ」に変更して、観察実験を行った。



図 2. カタバミとシロツメクサの共存

2. 材料・研究方法

2-1. 研究材料

シロツメクサの株・カタバミの株・杭・ビニルテープ・スコップ・金槌

2-2. 研究方法

洛北高校の校舎南側とグラウンドの境界において、これらの二種が生えている群生地に 40 cm×40 cm の方形区画を二つ設置し(図 3, 図 4), 一方の区画(図 3)ではシロツメクサの地上部を, 他方の区画(図 4)では地上部と地下部の両方を引き抜いて, その後 4 週間にわたっての生育状況を観察した.

上記の実験区画とは別のところに生育していたシロツメクサとカタバミの株を採取し, その標本を地下部と地上部に分けて観察した.

3. 結果

3-1. シロツメクサの除去

地下部ごと全て除去した区画は引き抜く以前までに回復することは無かったのに対し, 地上部を除去した区画では, シロツメクサが除草する前までと同じくらいに回復した(図 3, 4).



図 3. シロツメクサの地上部除去後の変化

上から除去直後 (9/16), 除去から 1 週間後 (9/23), 除去から 1 週間後 (10/14)



図 4. シロツメクサの全て除去後の変化

上から除去直後 (9/16), 除去から 1 週間後 (9/23), 除去から 1 週間後 (10/14)

3-2. カタバミの除去

地下部ごと全て除去した区画と地上部を除去した区画は、共に引き抜く以前に戻ることはなかった(図5, 6)。

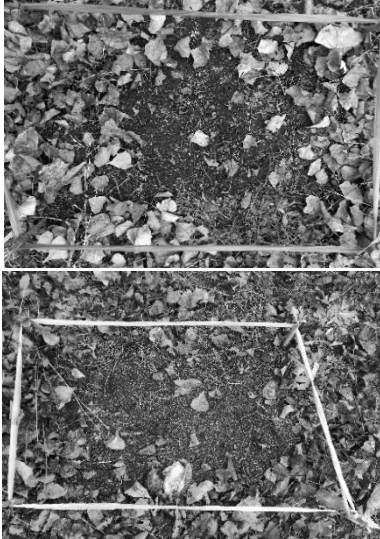


図5. カタバミの地上部除去後の変化

上:除去直後(11/25), 下:除去から2か月後(1/20)

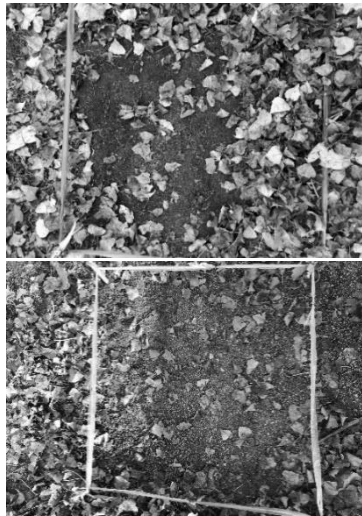


図6. カタバミの全て除去後の変化

上:除去直後(11/25), 下:除去から2か月後(1/20)

以上の結果をまとめたのが、次表である(表1)。

表1 シロツメクサとカタバミの除草後の状況

	全て除去	地上部除去
シロツメクサ	戻らない	一部回復
カタバミ	戻らない	戻らない

3-3. 外見の比較結果

図7のように、外見は似ているものの、根に関しては、カタバミのものは細くてほかの株の根とも絡まらずに独立して生育していたのに対し、シロツメクサの根はカタバミのそれと比べると比較的頑丈で、他の株の根とも絡まりあって複雑な網目状の特徴を示していた。



図7. カタバミとシロツメクサの標本

シロツメクサ(右)が複数個体ではなく1個体として記載されているが、個体間の差をはっきりさせるため、他の株と分離した。

4. 考察

地下部を残したシロツメクサは根から再生したと考えられる。シロツメクサがこのような区画で生き残ったのは、複数の株間で網目状に根を展開し、カタバミはそうではなかったことから、根が地下でより複雑に展開している程、植物の侵入を防ぐのに効果的であるとも考えられる。また、地下部ごと全て除去したシロツメクサの区画では他の植物も再生することがなかったため、そこはシロツメクサを含め、他の植物も生存できない区画であったと考えられる。

カタバミを除去した区画では、どちらも十分再生することはなかったため、根の有無にかかわらず短期間で再生することはできないと考えられる。しかし、今回区画を設定した付近にポプラの木があり、シロツメクサの実験を行った時よりも、カタバミの実験を行った時のほうが、その落ち葉がより多く山積していたことから、正確に実験を行えず、結果に影響を及ぼしたとも考えられる。

5. まとめと今後の課題

今回、私たちは観察結果を記録する度に紙にメモを残すだけでなく、より明確な証拠として写真を残しておかなければならなかったが、初期の段階ではそれに気づかずメモを取るのみに留まっていたので、内容に信憑性が伴わない部分も生じてしまった。それに加えて、今回は野外調査を主に行っていたが、区画に適した群生を見つけることができず、シロツメクサとカタバミの対照実験を同時期にできなかった。そのため、気温や日照時間が異なった状態で観察せざるを得なくなってしまう、再現性も低いものとなってしまった。ここから我々は、「失敗した時に備えて予め複数計画を立てておくこと」と「計画をできるだけ『具体的』にしてから実行に移す」という教訓を得た。

6. 参考文献

- 1) 「シロツメクサ-植物図鑑-エバーグリーン」
<https://love-evergreen.com/zukan/plant/8709>
最終閲覧日 2022年1月24日
- 2) 「オキザリスの育て方 住友化学園芸」
<https://www.sc-engei.co.jp/cultivation/details/3864.html>, 最終閲覧日 2022年1月24日

カビの育て方

～ pH 変化によるカビの増殖量の変化 ～

上林千織 西墻玲奈 布目瑞穂 細野沙樹子

要旨

今後のカビの研究に利用できる生育方法を確立するために、pH 変化によるカビの増殖量の変化について研究した。塩酸及び酢酸を用いて pH を調整した寒天培地を、風通しの良い場所に1時間放置した後に蓋を閉め、カビが生育するかを観察した。pH 2 から pH 6 の環境で実験を行ったところ、pH 6 の培地が最もコロニー数が多く、pH 2, pH 3 の培地ではコロニーがほとんど発生しなかった。また、塩酸と酢酸を比べたとき、塩酸を用いた培地は空気中のカビの採取に適しており、酢酸を用いた培地は人工的にカビを付着させて生育させることに適していると分かった。

1. はじめに

カビは真菌類の生物で、主に菌糸から成り、孢子によって増殖する。カビの発生には養分、湿度(0.6 以上の水分活性度)、酸素、温度(0~40°C, 25~28°Cが最適)が必要となる¹⁾。空気中には主にクロカビ類、コウジカビ類、アオカビ類、ススカビ類などの孢子が常に存在するため、その発生を防ぐのは難しい。また、カビの中には人間の身体に悪影響を及ぼすものが存在する²⁾。我々は大抵の場合、カビを防除しようと試みるため、カビを生育させることを目的とした研究は少ない。インターネット上でも、カビを避ける手段について検討したサイトが多いように感じられた。今後のカビを使用する研究に役立つため、カビの生育しやすい培地の pH について研究した。生育に最適な pH は4~4.5, 生育可能な pH は2~8.5ということが報告されている¹⁾。まず、カビは実際にそのような pH で増殖しやすいのか検証した。それと同時に、ある培地に生育したカビを pH の異なる別の培地に移植した場合、カビは生育するのにかについても調べた。またカビの生育条件について、pH の調整に塩酸を用いたものと酢酸を用いたものを比較した。仮説として、pH 4~4.5 に近いほどカビは生育しやすい、pH の異なる培地に移植しても生育

可能な pH の範囲内ならカビは生育する、同じ pH なら塩酸と酢酸による違いはない、の3つを立てた。

2. 材料・研究方法

2-1. カビの生育に適した pH についての研究

まず、純水 40 ml に塩酸を加えて pH 2, 3, 4, 5 の塩酸水溶液を、酢酸を加えて pH 3, 4, 6 の酢酸水溶液を作った。ここに 0.9 g の寒天を加え、オートクレーブで滅菌してからシャーレに注ぎ、寒天培地を作成した。この寒天培地の蓋を開けて本校生物実験室内の窓際に放置し、浮遊しているカビの孢子を採取した。1 時間後に蓋を閉めてパラフィルムで密閉し、25.1°C の人工気象器に入れて観察した。

2-2. カビを pH の異なる培地に移植した場合についての研究

pH 6 の酢酸水溶液を使用した寒天培地に生えたカビを滅菌棒で採取し、pH 4 の塩酸水溶液を使用した培地に移植した。その後、上記の人工気象機に入れ、経過を観察した。

3. 結果

塩酸を用いて作った pH 3 の培地では黒に近い緑色のカビのコロニーが発生した。また、酢酸を用いて作った pH 6 の培地では赤色や緑色のコロニーが発生した。(図 3B, F)

pH 2 の塩酸, pH 3 の酢酸, pH 4 の塩酸と酢酸の培地ではカビのコロニーは 1 つも形成されず(図 3A, C, D, E), pH 3 の塩酸の培地での 1 シャーレ当たりの平均コロニー数は 1, pH 6 の酢酸の培地では 5.5 であった(表 1, 図 1)。コロニーの大きさはいずれも米粒大で、どれも大きく成長しなかった。(図 3B, F)

同様に算出したところ、カビを移植した場合の平均コロニー数は塩酸では 4.5, 酢酸では 13 であった。(図 2)また、コロニーの大きさは移植前のものより大きく、小豆大のコロニーも存在した。(図 3G, H)

表 1. 2-1 の結果

	pH 2	pH 3	pH 4	pH 6
塩酸	0	1	0	
酢酸		0	0	5.5

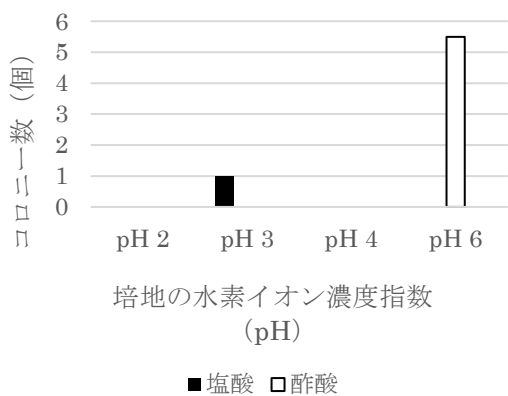


図 1. 2-1 の結果

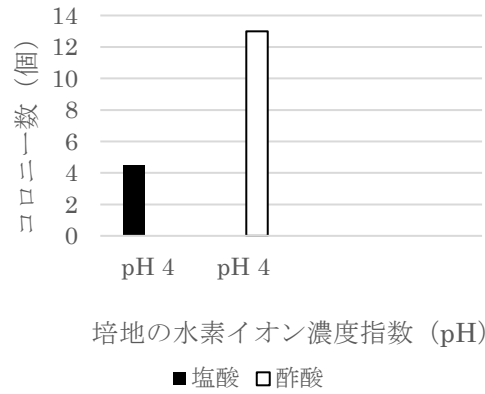


図 2. 2-2 の結果

4. 考察

コロニーの大きさや色から、塩酸で作成した pH 3 の培地に生えたカビは黒カビの一種である *Curvalaria.spp*, また、酢酸を用いた pH 6 の培地に生えたカビは赤カビの一種である *Fusarium.spp* とアオカビの一種である *Penicilium.spp* だと推測した³⁾。

結果 2-1 から、カビの生育最適 pH は 4.5~5 とされているが、最適 pH 以外では、pH 6 が最もカビの生育には適していると考えられる。また、pH 3 では酢酸より塩酸の培地のほうがよく生育した。結果 2-2 より、pH 6 の培地から pH 4 にカビを移植した場合には、塩酸よりも酢酸の方が生育しやすかった。

以上のことから、塩酸と酢酸を比べたとき、塩酸を用いた培地は空気中のカビの採取に適しており、酢酸を用いた培地は人工的にカビを付着させて生育させることに適していると考えられた。

これは、酢酸にはカビが生育するのを防ぐ効果があるからだと考えた。実際、パン業界において酢酸ナトリウムが防カビ材として使われている⁴⁾。しかし酢酸は有機酸であり、一度孢子が付着した場合は、有機酸が栄養分となって、生育しやすいのではないかと考えられる。塩酸は無機酸であり、このような効果がないため、一度孢子が付着した場合カビが生育しやすい酢酸と比べると、孢子の付着が安定しにくい空気中のカビの採取に適していると考えられる。

これらは、カビの生育に最適な pH を調べると
いう目的に適していると考えた。

5. まとめと今後の課題

今回の実験ではカビの種類 of 正確な同定がで
きなかった。また、結果のコロニーの数のちがいは、
シャーレを放置した際に付着したカビの胞子の量
や種類によるものである可能性があると考えた。よ
って、今後はあらかじめ用意したカビの胞子を利用し、
同じ種類のカビで生育のしやすさを比較したい。

また、コロニーが確認できない培地が多く、さら
に確認できても数個であるため、比較が難しかった。
今回は pH を調整した水を培地として使ったが、
寒天培地に栄養分(デンプンなど)を添加するなど、
pH 以外のカビの生育に適した条件を検討して pH
の違いの影響がより確認できるようにすることも
課題である。

一番多いコロニーが確認できた pH 6 では塩酸
で調整したサンプルがないため、これから実験を
して適切な pH が 6 であるのか調べる。

今後の展望としては、今回の実験結果を踏まえ
て、カビの生育に適した条件をより詳しく調べたい。
そのために、学校内で可能な条件の調整、分析
の方法について検討したい。

6. 参考文献

- 1) 文部科学省, 2021.6.21, カビ対策マニュアル
基礎編, https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/sonota/003/houkoku/08111918/002.htm
- 2) 農林水産省, 2019.4.9, かびとかび毒について
の基礎的な情報, https://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/risk_analysis/priority/kabidoku/kiso.html
- 3) 李 憲俊. 李 新一, 2020 年, カラー写真と実
例でわかるカビの分離同定と抗カビ試験, 日刊工
業新聞社, 34-36

4) 仲田 弘明, 今井 奈津夫, 長谷川 秀明,
田村 雅彦, 2013 年, パンに高い防カビ効果
を付与する製パン用発行風味駅の開発,
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jbrewsocjapan/108/8/108_615/_pdf/-char/ja

7. 添付資料

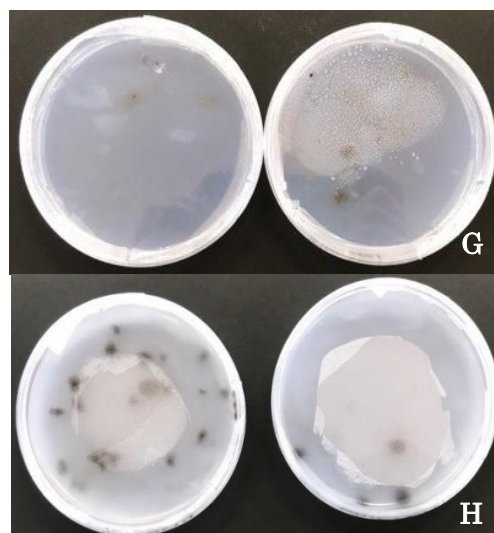
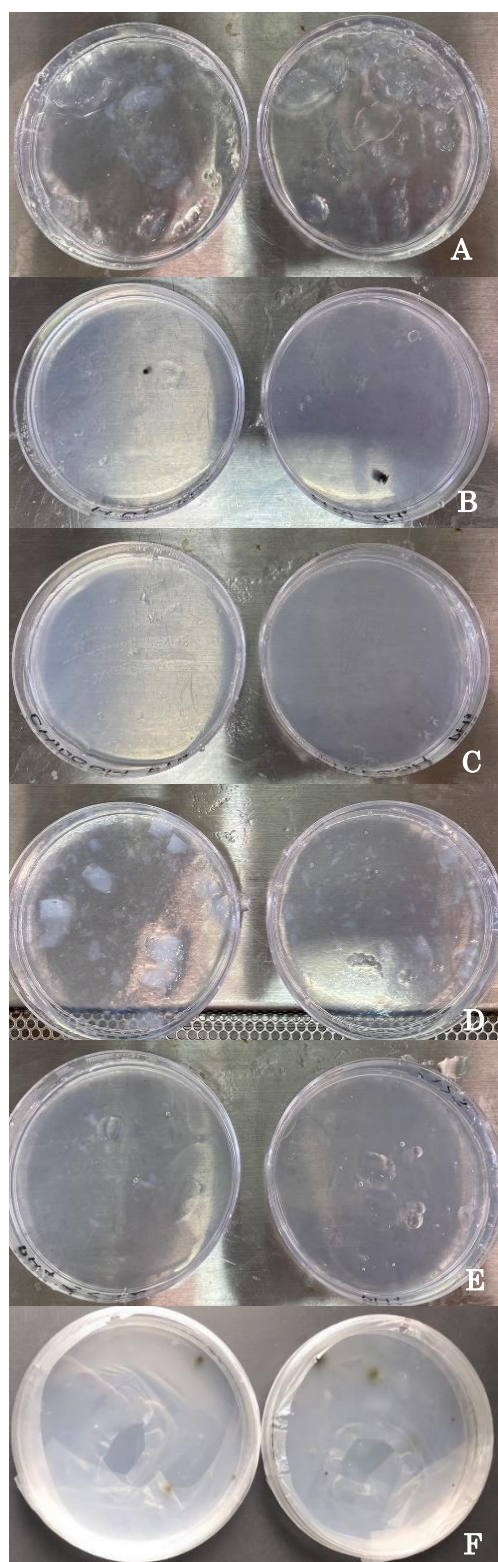


図 3. 培地の様子

A: pH 2 塩酸

B: pH 3 塩酸

C: pH 3 酢酸

D: pH 4 塩酸

E: pH 4 酢酸

F: pH 6 酢酸

G: pH 4 塩酸 (移植)

H: pH 4 酢酸 (移植)

ストレスを与えられたクローバーは四つ葉になるのか

阿部花佳 田中心晴 中西千紘 西村優里

要旨

クローバー *Trifolium repens* は街のあらゆる場所で生育している。しかしながら、通常クローバーの小葉は三つ葉であり四つ葉の発生は非常にまれである。その発生には環境的要因と遺伝的要因の両方が考えられており、特に環境的要因、どのような刺激により四つ葉が発生するのか、に関する研究はほとんどされていない。今回私たちは、様々なストレスを与えることにより四つ葉を発生させることを試みた。その結果、今回の条件では人工的に発生させることはできず、ストレスの種類やストレスを与える時期など、さらに条件を検討する必要がある。

1. はじめに

四つ葉のクローバーの発生条件には環境的要因と遺伝的要因の 2 つがある。今回は環境的要因、特にストレスに着目して実験を行った。『四つ葉のクローバーは踏まれることで発生しやすい』ということが報告されている¹⁾。このことから、ストレスを与えると良いのではないかと考え、さまざまなストレスを与えることにした。第 1 実験では、ストレスを比較するため、複数のポットに種子を植えて人工気象器を用いて発生確率を調査した。針などを使った物質的ストレスや植物ホルモンであるサイトカイニンの一種である 6-フルフリルアミノプリンを使った科学的ストレスを播種した種子に与えた。6-フルフリルアミノプリンは細胞分裂を促進することが知られている²⁾。第 2 実験では、条件を 2 つに絞り、ストレスを与える時期をずらして栽培し、四つ葉が発生する条件を検討した。

2. 材料・研究方法

2-1. 研究試料

クローバーの種子はホワイトクローバー(フィア)(タキイ種苗)を使用した。栽培土壌は培養土を用いた。縦 7 cm, 横 7 cm, 高さ 8 cm のポリポットで生育した。発芽まで 25°C に設定された人工気象器の中で育てた。ストレスとしてスティックのり容器、

シャープペンシル芯 B・0.5 mm, まち針, 6-フルフリルアミノプリン(0.053 g/L)を用いて刺激を与えた。生育環境を変える目的で、インソライト 2 mm 粒, 鴨川堤防の土を用意した。比較対象として四つ葉のクローバー栽培キット(grape shop)を用いた。

2-2. 様々なストレス実験

ポリポット 1 つにつき、30 粒の種子を植えた。条件は以下の 6 つで行った。踏む状況を再現するため播種直後から 5 g のスティックのり容器を自重で 10 回落下させた。まち針で 3 枚目の葉が出てきたら継続して刺激した。6-フルフリルアミノプリン(0.053 g/L)は、効果が強いことを考慮して、播種 1 か月後に 750 mL を底面給水させた。接触刺激を増やすため、60 粒植えたポリポットを用意した。栽培土壌にインソライトを培養土と 1:4 の割合になるよう混合し、種子を植えた。また別のポットでは四つ葉のクローバーが観察できた鴨川堤防の土も用いた。

表 1. 刺激方法とタイミング

刺激方法	①播種 2 日後	②①から 2 週間毎日継続	③発芽後(播種 5 日後)	④③から 2 週間毎日継続
シャープペンシル 0.5 mm 芯	○		○	
スティックのり容器	○	○	○	○

2-3. 物理的ストレスによる刺激実験

ポリポット 1 つにつき、9 粒の種子を植えた。スティックのり容器、シャープペンシル芯 B・0.5 mm 芯を使った。スティックのり容器による落下刺激を連続して与えると同時に、芯で未分化の細胞群である原基を定期的に刺激した。スティックのり容器は、自重で 20 回落下させた。刺激のタイミングは表 1 の通りに行った。芯による刺激は発芽前には培養土表面を満遍なく 10 回、発芽後は葉の分岐点に 1 度ずつ与えた。1 つの条件につきポットを 2 つずつ使用した。

3. 結果

図 1, 図 2 のように栽培キットで発生した 1 本を除き、いずれの条件下でも四つ葉の発生は確認できなかった。6-フルフリルアミノプリンを投与したクローバーは、投与後およそ 1 か月後にはそれ以前の 5 分の 1 である 3 本しか観察できなかった。また、イソライト混合土で育てたクローバーは、コントロール、鴨川堤防土で育てたものより成長しているのが観察できた。

4. 考察

第 1 実験では様々なストレスを与え、どの刺激が四つ葉のクローバーの発生を促進させるのかを確認した。栽培キットで四つ葉のクローバーが発生したことから、遺伝的要因が四つ葉の発生に関係していることが明らかになった。クローバーの生育環境としては、イソライト混合土が最も適していると考えられる。四つ葉の発生が確認できなかった原因の

1 つとして播種した種子の母数が少なすぎたことが考えられる。6-フルフリルアミノプリン投与後、観察本数が劇的に減少したのは最適濃度の約 50 倍を投与してしまったのが原因である。スティックのり容器の落下回数が少なかったと考え、第 2 実験では刺激回数を増やすこととした。刺激の種類に焦点をあてて実験を行ったがそれぞれの条件の刺激を加えていく中で、刺激のタイミングや回数を変えると実験結果が変わるのではないかとこの考えに至った。第 2 実験では、成長段階のどの段階で四つ葉になるのかを調べることにした。葉の原基を傷つけることを目的としてシャープペンシルの芯を用いて実験を行ったが原基の存在の確認ができていない状態で行ってしまい、正確に傷つけることができていなかったことが原因で四つ葉が発生しなかったと考えられる。スティックのり容器の落下回数を増やしたが、四つ葉の発生は認められず、踏む状況の再現としてスティックのり容器の落下では圧力が足りないことが示唆される。

5. まとめと今後の課題

本研究ではストレスにより四つ葉のクローバーを発生させることを目的としたが、本実験で用いたストレス、刺激方法では達成できなかった。

今後は踏む状況のより忠実な再現として、重し(671.3 g)の落下実験を行うこととする。また、クローバーの葉の形成過程をよく観察し、葉の原基の位置を正確に把握する必要がある。その上で原基に与える刺激の種類や強さを検討していきたい。

6. 参考文献

1) 犬伏順哉, 吉田詩穂, 米谷陸, 吉田愛加里, 松木梨南, 錦ひかる, 中村耕作, 岸本優成, 若松紘暉, 佐山葉, 2018.8.29, 外的刺激による四つ葉のクローバーの出現,

https://www.jstage.jst.go.jp/article/dohikouen/64/0/64_230_3/_pdf/-char/ja, 2021.5.20

2) Zhengzhou Delong Chemical Co. Ltd, 細胞分裂植物ホルモン,

<http://m.ja.bestplanthormones.com/plant-growth-regulator/cell-division-plant-hormones/plant-growth-regulators-cytokinins-n6.html>, 2021.5.20

7. 添付資料

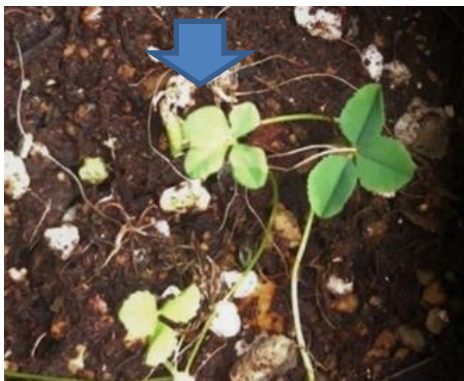


図1. 栽培キットで発生した四つ葉



図2. 実験2-3におけるクローバーの様子

理想のフードデリバリー会社を作ろう

保野萌 淀谷日菜

要旨

近年コロナ渦の影響で成長しているフードデリバリーサービスの質をより高めることと、プラスチック問題の解決の両方を目指し、アンケート調査や文献調査を用いて理想のフードデリバリーシステムを考案した。

1. はじめに

COVID - 19 のパンデミック以来、外出が制限されたため、フードデリバリー市場は急拡大した。一方で、使い捨てのテイクアウト容器がプラスチックゴミ問題につながり、世界中で問題となっている。そこで私たちは、より質の良いフードデリバリーサービスの実現とプラスチックゴミ問題の解決の両方を目指し、持続可能なフードデリバリーシステムの提案を試みた。

2. 材料・研究方法

2-1. アンケート調査

どのようなフードデリバリーサービスが求められているか知るために、京都府立洛北高等学校・附属中学校の生徒 291 人を対象に、フードデリバリーの各サービスに対する重要度を問うアンケート調査を行った。重要度は「0:全く重要だと思わない～10:とても重要だと思う」の 11 段階で尋ね、フードデリバリーサービスの利用経験がある人と無い人に分けて尋ねた。具体的な項目は以下の通りであり、項目内容の設定については、「フードデリバリーサービスの動向調査」¹⁾を参考にした。

- ① 配達員の研修の義務化
- ② 手数料の安さ
- ③ デリバリー時の品質管理
- ④ 配達される都市を広げる
- ⑤ ポイント制度の導入または拡大

- ⑥ フードデリバリーサービスの加盟店や店舗を増やす
- ⑦ 配達時の配達員の所在地が分かる
- ⑧ 配達員の指名制(現在は基本的にどのフードデリバリーサービスにも導入されておらず、私たちが考えた制度である。

2-2. テイクアウト容器の素材の調査

2-1 のアンケート調査の結果を受け、品質管理に適したテイクアウト容器の素材を調べた。各素材について調べた項目は、料理の温度を保つこととの観点から熱伝導率、デリバリー時の負担の軽減の観点から密度、さらに耐熱温度、電子レンジの使用が可能かどうか、耐油性の 5 項目にした。

また、気密性の高い容器の構造についても調べた。

2-3. 経費の収支についての調査

持続可能なフードデリバリーシステムを考案するにあたっての経費の収支を、現在存在するフードデリバリーサービスのデータをもとに計算した。

3. 結果

3-1. アンケート調査

結果は以下のグラフ(図 1)のようになった。

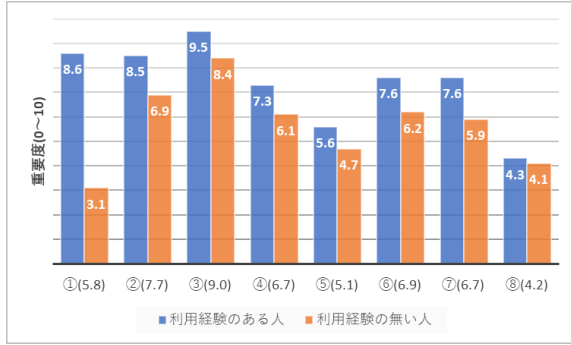


図1. フードデリバリーサービスの各サービスに対する重要度

横軸はアンケート項目の①～⑧、縦軸は0～11で表された重要度であり、横軸の()内の数字は利用経験のある人と無い人の平均値である。

グラフから、利用経験のある人、無い人共にデリバリー時の品質管理を最も重要視している。また、配達員の研修の義務化に関しては、利用経験のある人と無い人で重要視しているかどうかにかなり差があった。

3-2. テイクアウト容器の素材の調査

結果は以下の表のようになった。²⁾³⁾⁴⁾

表2. 素材の性質

縦軸が各素材について調べた性質の項目である。斜線はその素材において値が一定でないことを示す。

	発砲PP(ポリプロピレン)	PS(ポリスチレン)	シリコン	磁器
耐熱温度	130°C	70°C	150°C	
電子レンジ	○	✖	○	○
耐油性	○	✖	○	○
重さ(密度) [g/cm ³]	0.90 ~ 0.91	1.04 ~ 1.07	2.2	
熱伝導率 [W/mK]	0.125	0.10 ~ 0.14	0.15 ~ 0.17	0.15

また、気密性の高い容器としてはバルブ付き密閉保存容器が適している。バルブ付き密閉保存容器とは、耐熱耐冷温度に優れた保存容器であり、フタのバルブ(弁)を上げればそのまま電子レンジで加熱できる⁵⁾。



図3. バルブ付き密閉保存容器

3-3. 経費の収支についての調査

私達が考案した新たなフードデリバリーの経費の収支の計算は以下ようになった。

- ①全国でのフードデリバリーの注文数は、一か月間 500 万件⁶⁾である。
- ②一度の注文にかける金額は 2,000～3,000 円が一番多かったため⁷⁾、一回の注文で 2 品注文すると仮定すると、一か月間で注文される品数は 1,000 万件である。よって、全国で一か月間に必要な容器の数は 1,000(万個)である。
- ⑥現在使用されている使い捨て容器の値段の平均を 20 円とする⁸⁾。
- ⑦従来の使い捨て容器を使わないことによって浮くお金は、20(円)×1,000(万個)=2(億円)で、私たちの新しいシステムでは容器の貸し出しを行うため、新たにこれをレンタル料としてフードデリバリー会社は徴収する。
- ⑧容器の洗浄にかかるコストは、一枚当たり 1 円とし⁹⁾、一か月間でかかる洗浄コストは、1,000(万円)である。
- ⑨容器は、一つあたりが、600 円(私たちが考える理想の容器に最も近いと考えられたも

のを実際に購入した時の値段)とし、500回再利用するとして、一か月間でかかる容器の費用は、 $600(\text{円}) \times 1,000(\text{万件}) \div 500 = 1,200(\text{万円})$

⑩したがって、一か月間で私たちの考えるフードデリバリー会社は既存のフードデリバリー会社と比べて、 $2(\text{億円}) - 1,000(\text{万円}) - 1,200(\text{万円}) = 1.78(\text{億円})$ 収支がプラスとなる。

実際に、このシステムを導入すると、容器の洗浄機や輸送費、人件費などの経費がかかると考えられるため、この計算では、既存のフードデリバリー会社と比べて会社の収支が上がるかどうかは不透明な部分もあるが、この計算でいくと、環境に配慮した経営はできると考える。

4. 考察

アンケート調査の結果から、利用経験の有無に関わらず値段等よりも品質管理が重要視され、利用経験のある人は配達員の研修の義務化を重要視していることが明らかになった。これは、利用経験の無い人はあまりイメージできないが、利用経験のある人は実際にマナーが悪い配達員や雑に運ばれた料理を目にして研修の義務化を望むようになったと示唆される。文献調査①の結果からは、電子レンジの使用が可能であり耐油性にも優れており、熱伝導率も低いいため料理の温度が保たれやすく、また密度も最も低いため軽くて配達時の負担が減らせる発砲ポリプロピレンが、品質管理の観点から最も適している素材と考えられる。同じ品質管理の観点から、容器の構造は気密性の高いバルブ付き密閉保存容器が適していると考えられる。配達員の研修の義務化、ポリプロピレン製の容器、バルブ付き密閉保存容器という要素に加え、アンケート調査のアンケート項目にあった配達員の所在地の表示、配達員の指名制、またはじめに述べたようにプラスチックゴミ問題の解決のため、容器を回収性にする、という要素を

盛り込み、以下に示す理想のフードデリバリーシステムを考案した。

- 配達地域をいくつかのエリアに分け、各配達地域に拠点置き、スタッフが常駐する。¹⁰⁾
- 希望すれば配達員を指名するシステムが利用できる。
- 配達員の所在地がユーザー端末に表示される。
- 配達員の研修プログラムを実施する。
- 容器は発砲ポリプロピレン製、バルブ付き密閉保存容器を使用する。
- 容器は回収・再利用性とし、各配達地域にある加盟店に拠点から配送される。
- 現在主なフードデリバリーサービスで利用されているのは使い捨て容器であるが、その経費をフードデリバリー会社側から加盟店店舗への容器レンタル料とする。(詳しくは3-2. 文献調査②を参照。)
- 容器は次回のフードデリバリー使用時に配達員に返すか、ユーザーが自分で拠点に返却するものとする。

また、図4に配達員指名制のシステムを示す。経費の収支についての調査で記した容器の回収システムでは、既存のフードデリバリーサービスと比べ、収支が上がるかは不透明だが、現在SDGsやESG投資など環境に配慮した企業や取り組みが評価されている。収支が上がるとは言い切れないが、新しい投資先の対象や、新規の顧客の確保が見込めると考える。

5. まとめと今後の課題

本研究から、フードデリバリーサービスに利用者が最も求めていることは、何よりもデリバリー時の品質管理であり、新たなフードデリバリーシステムを考案する際に最も気を付けるべき要素であることが明らかになった。そしてその品質管理の質を高めるために、容器をポリプロピレン製にする等の素材の方面や、バルブ付き密閉保存容器を使用

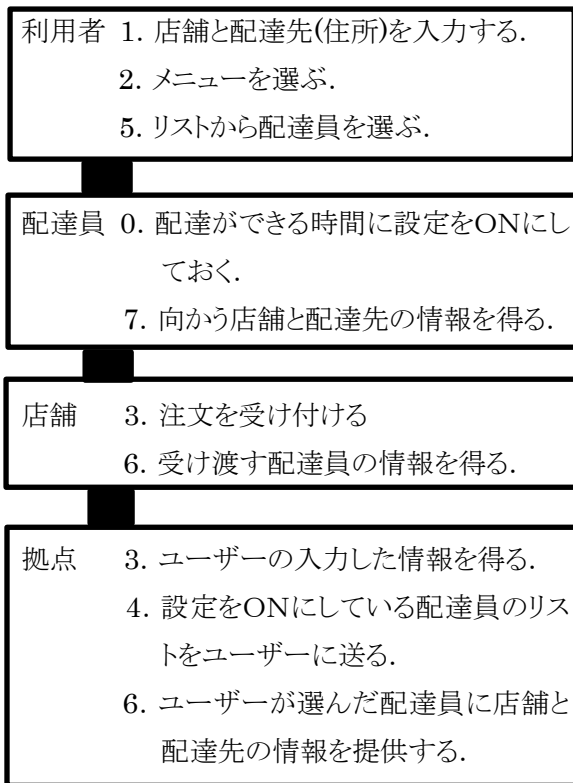


図 4. 配達員指名制を利用する際の工程
各工程の左横の番号は、その工程が行われる順番を示す。

して機密性を高める等の構造の方面から容器にアプローチすることができ、また配達員の指名制や研修の義務化等配達員の質を高める方面からもアプローチできることができると考えられる。使い捨て容器が引き起こすプラスチックゴミ問題を解決するために容器を回収性にすることは有効であると考えられるが、既存のフードデリバリーシステムから大幅にシステムが変わるため、4. 考察で述べたような新たなシステムを実際に導入しようとした場合、どのような問題が生じるか予測が困難である。この点が今後の課題である。

6. 参考文献

1) 消費者庁消費者政策課, 2020. 12. 17, 消費者庁, https://www.caa.go.jp/policies/policy/consumer_policy/meeting_materials/assets/internet_committee_201225_0002.pdf, 2021.

6. 3
2) 株式会社八光電気, 2020. 1. 25, HAKKO <https://www.hakko.co.jp/qa/qakit/html/h01010.htm>, 2022. 2. 3
3) Pack Depot, 2022. 2. 1, 容器の材質について, <https://pack-depot.com/article/pack-material>, 2022. 1. 27
4) 容器サービスセンター, 2021. 5. 10, メーカー別容器の素材と特性, <https://www.packstyle.jp/blog/?p=3391>, 2022. 1. 27
5) 無印良品, 2020. 1. 27, ポリプロピレン保存容器になるバルブ付弁当箱・白, <https://www.muji.com/jp/ja/store/cmdty/detail/4550002180942>, 2022. 1. 27
6) 横山耕太郎, 2021. 8. 4, 売上げ増でも赤字拡大の出前館. LINE 出身の新社長が「強気」な理由, https://www.businessinsider.jp/post-239739#cxrecs_s, 2022. 2. 10
7) ミチタリ, 2022. 1. 7, 1 回あたりの平均購入額は? 選ぶ時の重視ポイントは? 「フードデリバリーサービス」利用動向調査, <https://cs.oricon.co.jp/michitari/article/236/>, 2022. 1. 27
8) シモジマ, 2020. 2. 2, テイクアウト・デリバリー特集 / 丼容器, <https://shimojima.jp/shop/r/r5950/>, 2022. 1. 27
9) Panasonic, 2022. 2. 10, 食器洗浄機導入のメリット, https://panasonic.biz/appliance/cold_chain/dishwasher/merit.html, 2022. 2. 10
10) めしこイ, 2022. 1. 14, 【出前館】配達員(業務委託)の拠点一覧と拠点の使い方, <https://meshicoi.com/demaekan/12409/>, 2022. 2. 3

高野川水系の生物相の把握及び、ブルーギルの生息域調査

安達京右 中野開 吉田夏

要旨

特定外来生物であるブルーギルが全国で生態系を脅かしている。高野川でも近年確認したという情報もある。そこで、ブルーギルが高野川で生息し、生態系を脅かしているのかを突き止める目的で京都市内高野川水系の魚類相及び河川環境を調査した。捕獲調査ではブルーギルが確認できなかったものの、高野川の下流域ではオギや、ヨシなどの植物が川岸にみられ、また、ブルーギルの繁殖に適する砂底があり、ブルーギルの生息が期待される環境であった。しかしながら、上流部は流れが 0.5 m/s 以上あり、泳ぎを得意としないブルーギルには厳しい環境となっていた。さらに、先行研究¹⁾と比較しても、魚類相の大きな変化が見られず、ブルーギルが生息し、在来生物の脅威となっているとは考えにくい。

1. はじめに

ブルーギル *Lepomis macrochirus* は、スズキ目サンフィッシュ科に属するアメリカ原産の特定外来生物で、日本各地に拡散し生態系の攪乱が問題となっている。個体を捕獲する方法で行われた先行研究¹⁾によると、京都市の二級河川の高野川ではブルーギルの存在が確認されなかった。しかし、高野川の支流である岩倉川はブルーギルの生息が確認されている宝ヶ池とつながっており、さらに高野川下流でブルーギルを確認したという情報もあった。そこで eDNA 技術を用いて、ブルーギルの生息域調査を行うことにした。eDNA 技術はサンプル中に含まれる生物の DNA を分析して生物調査を行う手法のことである。しかし、DNA の予備実験で結果が出なかったため、たも網を用いて 10 地点で捕獲調査を行い、ブルーギルを含む各生物種の有無を確認し、また、水質調査と水深、水温等の環境調査も同時に行った。

2-2. 研究方法

2021 年 10 月、st1~12 において、pH、COD、硝酸態窒素のパックテストを用いた水質調査を行った。また、2022 年 1 月、st1~9 において、気温、水温、水深、流速、透視度を測った。流速は、ペットボトルとタコ糸を用いて測り、水深は、地点付近で最も深い場所で測った。さらに周辺の環境、植物相を調べた。調査事項は右岸、左岸、川底の様子や石の様子、右岸、左岸、川底の植物相である。また、また、21 年 10 月と 22 年 1 月のどちらでも、たも網を使った捕獲調査を行った。st1 が鴨川デルタ地点で st2~st5 が高野川、st6、7 が高野川、岩倉川合流地点、st8 が高野川上流で、st9、10 が岩倉川、st11、12 が宝ヶ池である(図 1)。以下は st1~12 の座標である。

2. 材料・研究方法

2-1. 研究試料

パックテスト(共立理化学研究所)pH・COD・硝酸態窒素

	E:	N:
st1	135度 46分 16秒	35度 1分 50秒
st2	135度 46分 20秒	35度 1分 49秒
st3	135度 46分 36秒	35度 2分 20秒
st4	135度 46分 51秒	35度 2分 1秒
st5	135度 47分 1秒	35度 2分 51秒
st6	135度 47分 25秒	35度 3分 33秒
st7	135度 47分 24秒	35度 3分 32秒
st8	135度 47分 31秒	35度 2分 51秒
st9	135度 47分 10秒	35度 3分 36秒
st10	135度 47分 5秒	35度 3分 56秒
st11	135度 46分 44秒	35度 3分 28秒
st12	135度 46分 52秒	35度 3分 26秒

3. 結果

3-1. 水質 (表 1)

総じて pH は中性付近だったが, st3~st5 はやや塩基性だった. 硝酸態窒素の値はすべての地点で 0.5mg/L 以下となっていた. COD は多くの地点で 5~10 付近であったが, 10 を超えている地点がいくつか見られ, 流速が遅い地点では COD の値が高い傾向がみられた.

表 1 各地点の水質と環境調査結果

	水温(°C)	水深(cm)	流速(m/s)	気温(°C)	pH	COD	亜硝酸態窒素
st1	6.1	35	0.194	6.5	5	5	~0.2
st2	10.5	28	0.24	6	7	5~10	~0.2
st3	9	32	0.083	8	8	10	0.2
st4	8.7	62	0.0016	13.8	8.5	10~13	~0.2
st5	8.3	25	0.107	12.3	8	5	0.2~0.5
st6	8.9	21	0.065	6.7	7.5	10	0.2
st7	9.1	16.5	0.303	7	7.5~8.0	5~10	0.2
st8	8	22	0.551	7	7~7.5	5	0.2~0.5
st9	8.4	19	0.04	7.1	7.5	5~10	0.2
st10					7.5	5	0.2
st11					6.5	5	~0.2
st12					6.5	5~10	~0.2



図 1 環境調査, 捕獲調査を行った地点

表 2 河川周辺の環境

	左岸	右岸	川底環境	石の様子	左岸	右岸	川底	その他
st1	一般道、あぜ道	一般道あぜ道車多	砂	2~10cm 亜角礫 ~亜円礫	ススキ	ススキ	藻	
st2	一般道	公園	石	角礫、石~丸 礫、石5~10cm	オギ、中 州 →ススキ	ブロック (イネ科あ り)	藻、 落ち葉 堆積	左側砂地 くぼみあり 堆積少し
st3	一般道	住宅	砂	少	イネ科、 ヨシ	石	藻多	
st4	一般道	道路、 住宅	砂	大きい石 20~30cm	オギ、ヨシ	オギ、ヨシ	藻少(ブ ロック に多)、 水草なし	ブロック
st5	一般道	住宅	石 礫	大きいの 少し50cm			藻多	藻多
st6	住宅	中州	石 礫	10cm くらい、丸	オギ	オギ	藻中~上	藻中~上
st7	中州	公園	石	丸み、50cm			藻多	藻多
st8	住宅	商業施設	石	丸み、角、50cm	オギ		藻なし	藻なし
st9	公園	公園、 森林	石	丸角 10~20cm			藻多	藻多

表 3 捕獲調査結果

◎は優占種と考えられる種

Japanese name	Scientific name	st1	st2	st3	st4	st5	st6	st7	st8	st9	st10
Blue gill	<i>Lepomis macrochirus</i>	○									
Kawamutsu	<i>Zacco temminckii</i>	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	○	◎	○
Mugitsuku	<i>Pungtungia herzi</i>	○	○								
Yoshinobori	<i>Rhinogobius</i>	○	◎		○		◎	○	◎	○	○
Donko	<i>Odontobutis obscura obscura</i>								○	○	
Kamatsuka	<i>Pseudogobio esocinus</i>									○	
Takahaya	<i>Rhynchocypris oxycephalus juyi</i>								○		
Numaebi	<i>Atyidae</i>	○	○	○	○	○	○		○	○	
Sawagani	<i>Geothelphusa dehaani</i>								○	○	○
Kawanina	<i>Semisulcospira libertina</i>	○				○	○	○			
Yago	<i>Mnais pruinosa</i>	○	○	○							
Higenagakawatobigera	<i>Stenopsyche marmorata</i>	○	○		○	○	○	○	○	○	
Ohyamakawagera	<i>Oyamia lugubris</i>		○		○	○	○	○	○		
Monkagerou	<i>Ephemera strigata</i>		○		○		○		○	○	
Itomimizu	<i>Tubifex tubifex</i>		○		○						
Puranaria	<i>Dugesia japonica</i>				○	○					
Kurohimegagambo	<i>Hexatonomi</i>						○			○	

3-2. 河川環境 (表 1, 2)

流速は高野川では 0.002 m/s~0.551 m/s と地点によってさまざまである。透視度は総じて 50 cm 以上となっていた。水深は地点によって差があり、全体的にみると、上流のほうが水深が浅い傾向がみられた。st3~st7 では砂利、砂などの川底が多く、鴨川との合流地点付近、および上流地域は石礫が多い傾向があった。なお、宝ヶ池は砂地であった。水深の浅いところ、および、流速の速いところに石礫の川底が多い傾向にあった。高野川水系は藻が生えている地点が多く、宝ヶ池には見られなかった。

3-3. 生態調査 (表 3)

本調査によって、高野川および岩倉川(st2~st10)で、魚類種はカワムツ類、ムギツク、ヨシノボリ、ドンコ、タカハヤ、カマツカの 6 種を確認できた。尚、賀茂川の st1 では特定外来生物であるブルーギルも確認できた。高野川および、岩倉川の魚類構成はカワムツ類、ヨシノボリが大部分を占めていた。カワムツは主に水際植生で確認されることが多かった。カワヨシノボリ、ドンコは川底で確認されることが多く、川底が石礫の地点で多く確認されており、砂利、砂の地点ではあまり確認されなかった。先行研究¹⁾(st1~st6, st8)と比較すると、確認された魚類は減っていたものの、優占種などの魚類相に大きな変化は見られなかった。尚、タカハヤやドンコは前述の先行研究とは異なる上流のポイントで確認された。甲殻類については多くの地点で、水際植生でヌマエビが確認でき、st8~st10 の上流域にはサワガニを確認できた。カワトンボ科のヤゴ、ヒゲナガカワトビゲラ、オオヤマカワゲラ、モンカゲロウなどの水生昆虫も確認できた、ヒゲナガカワトビゲラは川底が石で、流速の速い地域で多く見られた。オオヤマカワゲラ及び、モンカゲロウはオギ、ヨシなどの水際植生のあるところで、確認された。

4. 考察

pH の値が大きい場所は川底の藻の量が多い

傾向にあることから、光合成により水中の CO₂が植物に取り込まれていることにより、弱塩基性になっていると考えられる。一方で、硝酸態窒素の値もすべての地点で低い値となっており、生活排水、工業排水による汚染影響は非常に少ないと考えられる。また、生物相についても、カワムツ、サワガニ、カワゲラ、トビケラなど比較的きれいな水を好む生物が生息しているため、水生生物が生息しやすい水質環境であると考えられる。COD の値が高い点について、高野川およびその上流の公定法による測定値は 1 前後とみられ²⁾、今回の調査結果の値はいずれも大きく上回っている。その原因として、パックテストの使用期限が過ぎており、光や湿度によって、試薬が変質したことが考えられる。

カワムツが水際植生で生息が確認されたのは、流れが緩いところを好む傾向があるためだと考えられる。さらに、砂礫底の淵尻から平瀬の浅い場所で産卵することが多く、また、昆虫、甲殻類さらには、藻類などを捕食するため、高野川の砂礫の多い川底の環境や、植物の多い周辺環境から優占種になっていると考えられる。一方、ヨシノボリについては、水生昆虫や稚魚などを捕食するため、それらの生物が多く生息している高野川は、ドンコやヨシノボリの生息に適していると考えられる。なかでも、比較的大型の石が存在している地点で、ドンコとヨシノボリが優占種になっているのは、石の裏で産卵するためだと考えている。

ヒゲナガカワトビケラは、川底の石に打網状の巣を作り、流加珪藻類を摂食するため、より多くの摂食を得られるように流れの早い川の中央付近にも生息しているので、流速の速いポイントや川底が石となっている箇所が多い高野川に生息していると考えられる。

また、その他の水生昆虫についても、高野川は水質状況がよく、多くの植物も水際に生えているため、水生昆虫にとって生息しやすい環境になっていると考えられる。

ブルーギルは流速が 0.5 m/s 以下のところのみ

に生息するとされており、また、止水環境や流れが緩やかな河川に生息するため³⁾、st7, 8の流速の速い地点での生息は考えにくい。しかし、高野川の多くの地点で隠れ場となるオギ、ヨシなどのイネ科が生えており、流れが緩くなっており、それらの水際植生にブルーギルが生息している可能性がある。また、st8, 9の岩倉川には水際には植物はあまり見られないが、大きな石などで流れが緩やかで隠れられる場所があるため、ブルーギルが生息している可能性は考えられる。

ブルーギルは鉢状の巣を作るため、石礫ではなく、砂泥の川底でなければならない。よって、st3, 4の砂地の地点では、繁殖は可能であると考えられる。水深が浅い場所が多いため、大きい個体の生息は考えにくい。

ブルーギルが繁殖している深泥池では、1972, 77, 79年には在来種は10種ほど確認されたものの、外来魚のブラックバス、ブルーギルの移入により、2000年までの10~20年間で確認された在来魚の数は大幅に減少し、フナ類、ヨシノボリ等の在来魚の多くは見られないとある⁴⁾。また、琵琶湖の小津袋の30年間の魚類相でも同様の結果が見られた。⁵⁾しかし、今回私たちが行ったst1~9までの捕獲調査と先行研究¹⁾の魚類相を比較すると、確認された種に若干の変化はあったが、15年前の捕獲調査のデータとの魚類相の変化は確認されず、フナ類のカワムツ、ヨシノボリなども多くの地点で確認され、優占種であった。故に、ブルーギルが高野川水系に存在している可能性は考えられるが、優占種となり、在来種の脅威となっているとは考えにくい。

5. まとめと今後の課題

本論文の目的は、高野川におけるブルーギルの有無または、ブルーギルの在来種への影響を調査することであった。研究方法として、河川周辺の環境調査、水質調査、捕獲調査を行い、以下のことがわかった。ブルーギルの生息に適していない、水深が浅く、流速の速い地点が多かった。

高野川水系の調査地点における優占種は、依然 在来種である。以上の調査結果から、ブルーギルは高野川に生息している可能性はあるが、在来種の脅威になっているとは考えにくいと考えられる。今回実践しなかったeDNAを使った調査や、春から秋にかけての環境、捕獲調査ができれば、ブルーギルの生息可能性についてより明確な情報を得ることができると考えている。

6. 参考文献

- 1) 石田裕子・中林真人・竹門康弘・池淵周一, 2007, 堰堤で仕切られた都市河川の魚類相と生息場の特性. 京都大学防災研究所年報, 第50号, 781~788
- 2) 京都府, 平成29年度公共用水域及び地下水の水質測定結果 <https://www.pref.kyoto.jp/suishitu/h29kekka-syosai.html>, 2022. 1. 27
- 3) 国土交通省, 2013. 12, 河川における外来魚事例集, https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/kankyo/gairai/jirei.html, 2022. 2.1
- 4) 竹門康弘, 1999. 3, 深泥池の魚類調査結果と最近20年間の魚類相の変化
- 5) 美濃部博・桑村邦彦, 2001. 4, 琵琶湖周辺の内湖における魚類相の変化と生息環境分析. 応用生態工学, 4巻, 1号, 27~38

マスク内湿度の観点における肌荒れ

～ 肌の保湿に適したマスク開発に向けて ～

太田朱香 富岡彩実

要旨

マスクの着用による肌荒れへの対策の一步として、湿度変化が原因となって引き起こされる肌荒れに注目し、それらの肌荒れを防ぐにはどのマスクが適しているかを調査した。アンケートにより、肌の乾燥に悩んでいる人が多いとわかった。また、夏・冬の気温に見立てたヒーターと冷蔵庫にて、マスクを着用した模型の湿度の推移を測る実験からは、夏は不織布マスク、冬は布マスクが肌の保湿には適していると明らかになった。

1. はじめに

2019 年末に発生した新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) は、数カ月で WHO がパンデミック (2020 年 3 月 11 日)¹⁾ と認める世界的な大流行となった。国内でも、新型コロナウイルス感染症の拡大を受け 4 月 7 日に政府から緊急事態宣言が発出され、その基本的対処方針 (2020 年 5 月 14 日)²⁾ の中で「マスクの着用」「人と人の距離の確保」「手洗いなどの手指衛生」の 3 つの基本的な感染症対策が示された。感染者数の分析³⁾ や数値シミュレーション⁴⁾ により、公の場でのマスク着用が新型コロナウイルスの感染者数を抑える働きがあることを支持する報告がある。そうした中、マスクを長時間着用することにより、かぶれやニキビ、肌の乾燥に悩む人が増加していると思受けられる。肌荒れは、外観的には皮膚角質層の乾燥、剥離、肌理の乱れ等を特徴とする。肌荒れの原因は、乾燥・寒冷、洗浄剤成分、紫外線等の生活環境を中心とした外的要因と、生理機能の変調、疾病、精神状態変化などの内的要因がある⁵⁾。また、マスクを外した時に肌に含まれている水分が蒸発することで肌が乾燥し、肌のバリア機能が脆くなる。前述の要因のうち、本研究では湿度変化による肌荒れに注目した。気温が高く湿度が高い夏の場合、汗と皮脂によって皮脂膜が生成され

肌荒れがおこりやすくなり、気温が低く大気が乾燥しやすい冬は、かさつきなどの肌荒れが生じやすいと考えた。本研究では、マスクによる肌荒れに対する人々の意識や実態を調査するため、アンケートを行った。そして、マスクの素材によってどのように湿度が減少するかを測る実験を行った。本研究で明らかになった保湿度の高いマスクの改善点を洗い直してさらに改良することで、肌の乾燥を最大限に防ぐことのできるマスクの開発に貢献したい。

2. 研究方法

2-1. アンケート調査

洛北高校サイエンス科 2 年生 75 人を対象にアンケート調査を行った。主な項目内容は次のとおりである。まず、普段着用しているマスクの種類を不織布マスク、ウレタンマスク、布マスクの 3 つから 1 つ回答してもらった。次にマスクを着用していて問題が生じたことがあるかを聞いた。この問いで「はい」と答えた人に、夏と冬に、湿度が関係すると思われる、かゆみ・湿疹・あせも・ニキビ・かさつき・蒸れ・息苦しさ・においの 8 つの項目をそれぞれどれだけ感じたかを 4 段階で評価してもらった。

2-2. 実験

夏と冬の気温に見立てて 37°C に設定したヒーターと 0~3°C に設定されている冷蔵庫の中で、コスチュームマスク(システムスタイル(株)製)に霧吹きで水を3回ほど吹きかけたうえでマスクを装着し、マスクの内側にポケットラボ(ケニス(株)製)を入れて、マスク内の湿度の減少の推移をそれぞれ約3時間測定した。マスクは、不織布マスク、布マスク、ウレタンマスクの三種類をそれぞれ使用した。

3. 研究結果

3-1. アンケート調査

図1に示すように、アンケート対象が着用しているマスクは、多い順に不織布マスク・ウレタンマスク・布マスクであった。

また、図2に示すように、どのマスクでも夏と冬両方において「蒸れ」と「息苦しさ」を感じる人は多かったが、全体的に冬より夏の方がマスク着用による問題を感じている人が多いことが明らかになった。肌荒れに関する項目において、夏は「かゆみ」「あせも」「ニキビ」などが冬よりも多く問題としてあげられおり、冬は「かさつき」を問題としてあげた人が夏と比べ多い傾向にあった。

マスクの種類では、不織布マスクや布マスクと比較すると、ウレタンマスクでは「かゆみ」「湿疹」などの問題を感じている人の割合が少ないことが分かった。

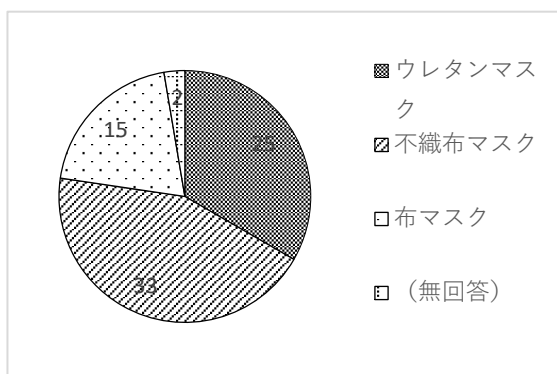


図1. 各マスクの着用の割合

(図中の単位：人)

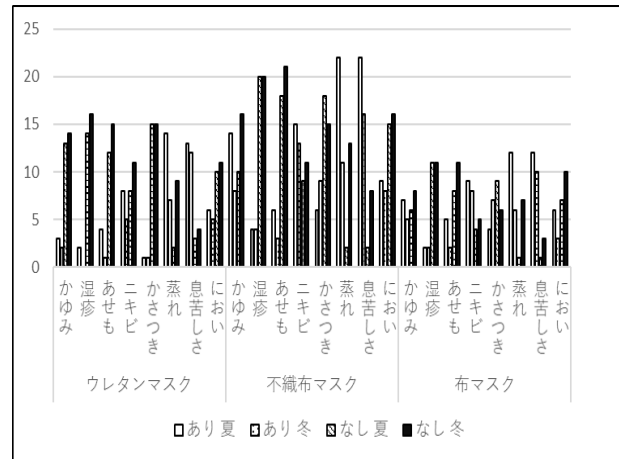


図2. マスク着用による問題の有無

(縦軸：人数)

3-2. 実験

ポケットラボによる測定結果を図3に示す。ヒーター内では、推移が安定している 33:20 (s) ~ 02:13:20 (s)の湿度の減少率を読み取ると、減少率の低いマスクは、順に不織布マスク、ウレタンマスク、布マスクとなった。冷蔵庫は、湿度調整が働く物であったということと、実験中に冷蔵庫の扉を開けるといったことがあったため、正確で長時間に及ぶ安定した結果は得られなかった。したがって、湿度調整がされていないと考えられる10分程度の時間内での湿度の減少率を比較したところ、減少率の低いマスクは、順に布マスク、ウレタンマスク、不織布マスクとなった。

また、実験開始10分での結果を比較すると、冷蔵庫の方がヒーターよりも湿度の減少率が高いことが分かった。

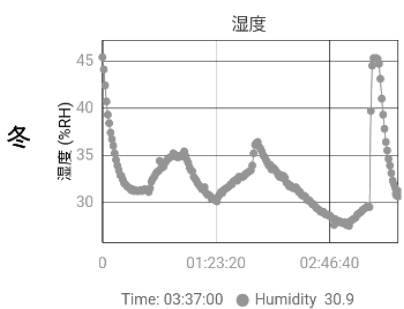
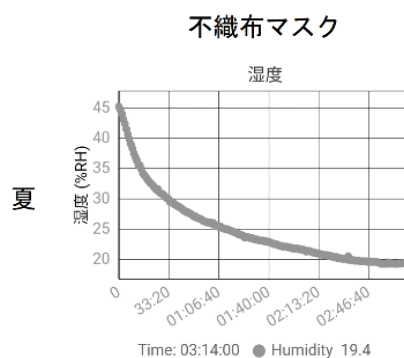
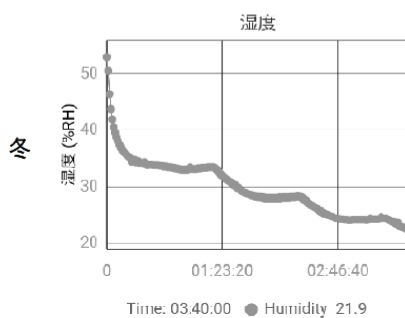
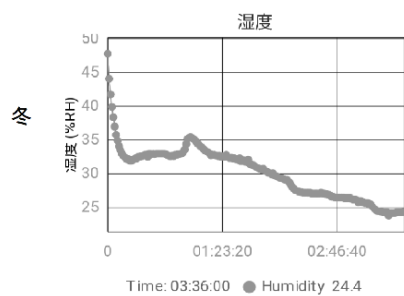
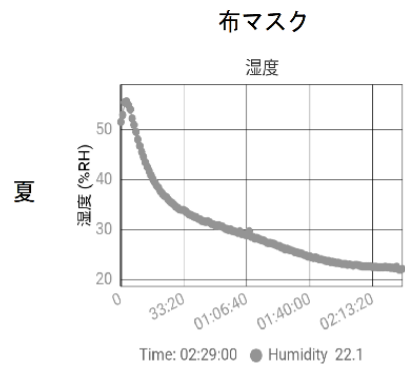
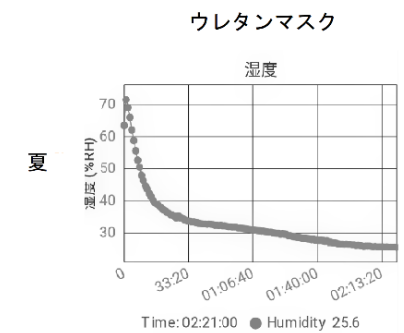


図 3. マスク内湿度の推移

上段: 夏 (ヒーター内で測定)

下段: 冬 (冷蔵庫内で測定)

4. 考察

アンケート結果より、夏に「かゆみ」「あせも」「ニキビ」などの肌荒れを感じる人が多い。これらの原因として、夏の高温によりマスク内で汗や皮脂の分泌がおこりやすくなり、実験結果から分かるように冬と比較して夏の湿度の減少率が低いため、高湿度状態が保たれやすいことが考えられる。このため、夏に「あせも」「ニキビ」などの肌荒れを感じる人は高温状態で湿度の減少率が高い布マスクを選ぶことで少しでも問題解消につながる可能性がある。一方、夏に「かさつき」などの肌荒れを感じる人は逆に高温状態で湿度の減少率が低い不織布マスクを使用し保湿することで解消につながる可能性がある。

一方、冬の問題としてあげられた「かさつき」の

原因としては、夏と比較して冬の湿度の減少率が
高く乾燥やすいことが考えられる。肌荒れは、湿
度の急激な変化により、肌の水分が一気に奪わ
れるため起こりやすくなる。よって低温状態で湿度
の減少率が低い布マスクが肌の乾燥対策に適し
ているといえる。

5. まとめと今後の課題

各マスク内の湿度の減少率の比較より、マスク
の種類と肌の乾燥に関する以下の結論が得られ
た。本実験におけるマスク内の湿度の減少率が低
いほど肌が乾燥しにくく保湿度が高いということ
である。したがって、気温の高い日本の夏では、不
織布マスクが最も肌の保湿に適しており、気温の
低い日本の冬では、布マスクが最も肌の保湿には
適している。また、肌荒れのタイプにより、マスクの
種類を変えることが問題の解消につながるかもし
れない。

今回の実験で課題が 2 つ見つかった。1 つは
呼吸まで考慮した実験を考える事である。呼吸に
含まれる水分の量によってマスク内の湿度は今回
の想定より高くなることが予想され、また呼吸には
個人差があるので平均値を出すことから始めねば
ならない。もう 1 つは温度や湿度の変化防止に特
化したマスクを考えると、感染症防止という本来の
目的と齟齬が生じる事である。感染症の防止にお
いては、吐き出しと吸い込みの両方で不織布マス
クが最も感染率が低いことが報告されている⁹⁾。こ
れについて私達は、乾燥剤や調湿剤を用いたシ
ートを作る事を考えた。肌に適切な湿度は
40~60%、ウイルス感染防止に適した湿度は
50~60%である⁷⁾。よってマスク内の湿度を 60%に
保つことを目標に、それに適した乾燥剤の量を探
っていきたい。

7. 参考文献

1) World Health Organization: WHO Direc
tor-General's opening remarks at the med

ia briefing on COVID-19, <https://www.who.int/dg/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020>, 2022-1-27

2) 内閣官房: 東京: 新型コロナウイルス感染症対
策の基本的対処方針(令和 2 年 3 月 28 日(令
和 2 年 5 月 14 日変更)), https://corona.go.jp/expert-meeting/pdf/kihon_h_0514.pdf, 2022-1-27

3) Nianyi Z, Zewen Li, Sherrienne Ng, et al: Epidemiology reveals mask wearing by the public is crucial for COVID-19 control. *Medi Microecology* 4: 100015, 2020.

4) Eikenberry SE, Mancuso M, Iboi E, et al: To mask or not to mask: Modeling the potential for face mask use by the general public to curtail the COVID-19 pandemic. *Infect Dis Model* 5: 293–308, 2020.

5) 北村謙始・山田久美子・伊藤明・福田實, 199
5, 肌荒れの発生機序と有効成分の開発に関する
研究. *日本化粧品技術者会誌*, 29, 2, 133-145

6) 本道トータルヘルス内科クリニック, 2021, 新型
コロナウイルスに対するマスクの効果について, <https://www.hondori-total-health.jp/column/post-2403/>, 2022.2.3

7) ANDD Discover Precision, 2021, 季節性イン
フルエンザの流行と絶対湿度の関係について, https://www.aandd.co.jp/pdf_storage/tech_doc/sp/t_volumetric_humidity_211206a.pdf, 2021.1.27

どんな家がベスト??

～ “省エネ住宅”を身近にするパズル教材製作～

成田愛実 松原葵

要旨

高校生を対象に省エネ住宅について啓発するため、住宅デザインを体験するパズル教材を製作した。完成した教材で遊んだ生徒の意見・感想から、省エネ住宅の啓発に効果が見られた。一方、各ピースのより詳細な説明や教材としての面白さに改善点が見られるとともに、教材としてではなく住宅展示場などでの資料としての用途の適性も示唆された。

1. はじめに

近年、地球温暖化や脱炭素化が世界的に関心を集めており、省エネルギーが重要視されているが、省エネの対象には住宅も含まれる。事実日本の家庭のエネルギー消費の30%が冷暖房であり、資源エネルギー庁は「住宅の省エネルギー基準」、「低炭素建築物の認定基準」などの基準を定めている¹⁾。日本より厳格な基準としてドイツ発のパッシブハウスがあり、これは優れた断熱性能によって冷暖房の使用を極めて小さく抑えることを可能にする。2012年までに世界で約18,000例のパッシブハウスが施工された²⁾。

本研究では、この動向をふまえ、省エネルギー住宅について若い世代の認知度と関心を高め、将来家を建てる際などにエネルギーを賢く使う選択をするよう促すことを目指した。複雑な社会問題への関心を高める手法として、単純化して仮想体験を可能にするゲーム・シミュレーションが有効だと言われている³⁾。私たちは今回、パズル教材を用いた住宅デザインの体験が、住宅と省エネルギーの関係について高校生の理解及び関心の向上につながると考えた。

2. 研究方法

2-1. パズル教材の概要

私たちの作成したパズル教材は、住宅のデザ

インをシミュレーションするものである。プレイヤーは屋根や窓など家のパーツそれぞれについて複数種類のピースから一つを選び、台紙の上で自由に組み合わせて家を作る。「省エネ度」を含むピース同士の特徴を比較して選ぶ中で、遊びながら住宅と省エネルギーについて理解を深められるようにした。

2-2. 教材の材料

厚紙に絵を印刷した紙を貼ってピースを作り、ピースを載せる台紙も同様に作った。パーツの種類と数は、屋根(5)、壁(4)、床(5)、窓(3)、ドア(3)、断熱材(3)である。各ピースを「省エネ度」、「築工費」、「環境リスク」の3つの観点について指標となる数値を後述の通り算出し、それを大小比較がしやすいよう星マーク(★)の数(1~5個)でピースの裏面に記載した(図1)。台紙には、ピースを配置する場所と、それぞれの項目のバランスを見てもらうためのレーダーチャート、そして遊び方を簡単に書いた(図2)。遊び方にバラエティーを持たせるために、「安い家にしたい」といったデザインの目標を指定する「ミッションカード」も5枚作成した(図3)。全ピースの詳細を後述のように計算した星の数とともに表2に示した。

2-3. 星の数の算出方法

2-3-1. 「省エネ度」の算出方法

ピースがどれほどエネルギーを無駄にしないかを表す「省エネ度」は、断熱材と窓について求めた。各パーツの「熱貫流率」を用いて「一次エネルギー消費量」を算出し、この値が小さいものほど星の数が多くなるよう設定した。

熱貫流率は(熱伝導率)/(厚さ)で求められる数値で、これが小さいほど断熱性能が高いといえる。断熱建材協議会⁴⁾による数値を用いた。

一次エネルギー消費量(単位 MJ)の算出には「エネルギー消費性能計算プログラム 3.0.0.」⁵⁾を利用した。当プログラムの「外皮性能の評価方法」で「当該住戸の外皮面積を用いず外皮性能を評価する(ここで計算)」を選択し、窓パーツの熱貫流率は「窓の熱貫流率」に入力した。断熱材パーツは、屋根と壁に用いたときの値をそれぞれ「屋根または天井の熱貫流率」「壁の熱貫流率」の二カ所に入力した。下表 1 に資料参照時の具体的な選択項目をまとめた。

2-3-2. 「築工費」の算出方法

築工費は全パーツについて算出した。住宅販

売会社のウェブサイトを参照してコストを概算し、安価なものほど星の数が多くなるように表した。

参考にしたのは、断熱材が「家づくりを応援する情報サイト」⁶⁾、株式会社ロゴスホーム⁷⁾、窓はYK KAP⁸⁾、床はリショップナビ⁹⁾、リフォマ¹⁰⁾、リクシル¹¹⁾、ハピズム¹²⁾、屋根がプロヌリ¹³⁾、ドアはリクシル¹⁴⁾、YKKAP¹⁵⁾、壁がサンゲツ¹⁶⁾である。

2-3-3. 「環境リスク」の算出方法

これはピースの材質などに懸念があった場合に減点方式で求め、断熱材ピースに記載した。

セルロースファイバーは、古紙やおがくずなど自然の木材が原料であり、体にも環境にも優しい上耐火性、防音性、防虫効果にも優れており、調湿性も持っていることから環境リスクは低いと判断し、5点となった。

グラスウールは、吸音性があり、ガラス繊維であるため火や虫に耐性があるが、湿気に弱いことから夏の湿度が高い日本では耐久性に少々難があることを鑑み、3点とした。

ビーズ法ポリスチレンフォームは、水に強く湿気対策にも適している一方、熱に弱く耐火性に不安があることから、2点とした。

表 1. 参考資料の具体的選択項目

断熱建材協会⁴⁾の資料を参照するにあたって、どの項目の数値を使用したのかのまとめ。

種類	ピース名	項目
断熱材 (全て軸組工法の数値)	セルロースファイバー	屋根部分：製品厚さ 265mm 外壁部分：製品厚さ 120mm
	グラスウール	屋根部分：LFGW2238 外壁部分：GWHG24-35 (製品厚さ 120mm)
	ビーズ法ポリスチレンフォーム	1号 屋根部分：垂木間充填 70mm 外壁部分：充填 70mm
窓	木枠三層	樹脂または木製建具>三層複層>Low-E ガラス 1 枚 >ガス封入あり>10mm未満
	金属枠複層	金属製建具など>複層>Low-E ガラス>ガス封入あり>10mm未満
	一般複層	金属製建具など>複層>一般ガラス>>8mm未満

種類	ピース名	星の数		
		省エネ度	築工費	環境リスク
断熱材	セルローズファイバー	3	4	5
	グラスウール	3	4	3
	ビーズ法ポリスチレンフォーム	1	3	2
窓	木枠三層	5	2	
	金属枠複層	3	3	
	一般複層	2	4.5	
床	無垢材	/	2	/
	複合材		4	
	石材		1	
	タイル		4	
	畳		4	
屋根	粘土瓦	/	1	/
	化粧スレート		4	
	ガルバリウム鋼板		3	
	アスファルトシングル		5	
ドア	片開き	/	3	/
	片引き		3	
	引き違い		2	
壁	織物調(ビニールクロス)	/	3	/
	珪藻土		5	
	和紙クロス(紙)		1	
	抗菌・防汚クロス		5	

2-4. 教材の効果の検証

完成したパズル教材で本校 2 年 1 組, 2 組の生徒 5 人に遊んでもらい, 教材の疑問点や改善点(「より楽しく遊べる」, 「より分かりやすくなる」の 2 つの観点から)をインタビューした。加えて生徒の省エネルギー住宅への認知度について(「パッシブハウスについて聞いたことがあるか」, 「日本に住宅の省エネルギー基準があると知っていたか」と, 「こういったパズル教材がどのような場で使われるとよいか」も尋ねた。

3. 検証の結果

生徒たちからは, おおむね楽しんで遊んでいる様子が見られた。詳細なインタビュー結果を項目別に表 3 にまとめた。

パッシブハウス及び日本の省エネルギー住宅基準については, 5 人全員が「どちらの存在も知らなかった」と回答した。

表 3. 生徒からの意見

項目	意見や提案, 疑問点
分かりやすさ	<ul style="list-style-type: none"> ● 聞き慣れない材質等に詳しい説明を ● 写真と名前だけではピースの特徴がわからないので, 実物を触れるとよい ● 築工費の★の大小と, 高価/安価の関係が紛らわしい
面白さ	<ul style="list-style-type: none"> ● 予算金額の具体的な設定 ● 3人程度で対戦したい ● 現実的でない変わり種のピースも欲しい ● 地理的な条件を設定したい(災害対策, 気候など)
活用の場	<ul style="list-style-type: none"> ● 家庭科など授業の教材として ● 住宅を建てる時に, 建築士などに説明を受ける傍らにあってほしい ● モデルハウス, 住宅展示場などで自由に遊べるように置いてほしい

4. 考察

4-1. パズル教材の効果

生徒の反応から, このパズル教材には生徒の好奇心を刺激し, 省エネ住宅への興味をかきたてるとともに, 楽しみながら省エネ住宅への理解を深める効果があると考えられる。

4-2. パズル教材の分かりやすさについての課題

生徒からは, そもそも住宅について詳しく知らず, それほど関心を持ったこともないという声が多く聞かれた。今回は正確を期すため建材名を詳細にピースに記載したが, このためピースの特徴

がかえって伝わりづらくなった可能性がある。改善策として, 詳細な説明書をパズルに添付することや, ピースの特徴を実際の建材より強調して設定することが考えられる。また可能ならば, 生徒の提案のように壁紙やフローリングなどの実物を添付することにも効果が期待できる。手触りや見た目が理解の助けになる他, 遊び手自身の家などに関連付けて身近に感じてもらうきっかけになりうると考えられる。

情報の正確さにも課題が残っている。「築工費」は販売会社や細かな仕様の違いにより同じ素材でも振幅が大きいと算出方法に改善の余地があり, 「環境リスク」についてはより信頼性の高い情報を得る必要がある。

4-3. プレイの面白さについての課題

地理的条件の設定や建物のバリエーションの提案から, 遊ぶ人によっては, より複雑な要素を含み実際の住宅デザインに近づけた方が, 考えながらピースを選ぶ楽しさが増すことが示唆される。築工費や予算の額の明示も, 住宅デザインの目標をさらに明確にし, プレイの動機につながると考えられる。今回は高校生が知識をあまり持っていないことを考慮し, 実際のケースより簡略化したが, 対象者ごとの最適な複雑さの度合いを母数の大きな統計を取って明らかにする必要がある。

この教材は一人プレイ用に製作したが, 複数人での協力や競争の要素も面白さにつながる可能性がある。実際, 小室らの研究¹⁷⁾では一般に普及しているボードゲームをベースに製作された「エコポリー」に環境教育への効果が見られた。私たちが製作したパズル教材も今後, 既存のパズルやゲームとの組み合わせにも効果が期待できる。

4-4. 教材の活用の場およびそれに向けた改善点

私たちは, 家庭科などの授業で住まいやエネルギーについて学ぶ際の教材を想定してこのパズルを製作した。一方インタビューからは, 住宅の

購入前などすでに関心を持った状態で、専門的で複雑な事柄の理解を深めるのにこのパズルが役立つ可能性が新たに示唆された。この用途は今回よりもさらに正確かつ詳細な説明を必要とするため、住宅販売会社などの監修のもとで作ることが望ましい。

生徒に省エネルギー住宅への関心と理解を高めてもらうことを目的とする場合は前述のように、難解な説明なしに理解しやすくすることと、テーマへの関心がない人でも楽しめる工夫が必要だと考えられる。

5. まとめと今後の課題

本研究から、住宅デザインをテーマにしたパズル教材が、住宅と省エネルギーの関係について高校生の理解と関心を高めるのに一定の効果を示すことが示唆された。

今後の課題として、分かりやすさと面白さの両立を図ることがある。正確性の向上に加え、高校生に合わせてより複雑な遊び方が可能な教材にすることが求められる。

さらに、住宅購入を考える人などを対象に、複雑な事項の理解を助ける用途でも活用できる可能性があり、これについても効果を実証していくことが望ましい。

7. 参考文献

- 1) 経済産業省 資源エネルギー省, 住宅による省エネ, https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/general/housing/, 2022.01.20
- 2) 望月浩二, 建設の施工企画, p.78('12.12) <https://jcmantet.or.jp/bunken/wp-content/uploads/2012/12/078.pdf>
- 3) 大竹庫一・広瀬幸雄, 2005, 高等学校における環境教育としての産業廃棄物ゲームとその教育評価, シミュレーション&ゲーミング, Vol. 15, No. 1, p.15-23
- 4) 断熱建材協議会, 2021.04.01, 製品別部位別

表, <https://dankenkyou.com/buibetsuhyou.html>

5) 住宅に関する省エネルギー基準に準拠したプログラム, <https://house.lowenergy.jp>

6) 株式会社ポラリス・ハウジングサービス, 家づくりを応援する情報サイト, <https://polaris-hs.jp/kaiteki/insulation.html#030>,

7) 株式会社ロゴスホーム, 住宅に用いる断熱材を徹底比較! 種類・特徴・値段から見るベストな選択は?, <https://www.logoshome.jp/blog/entry-20200219.html>

8) YKKAP, 2021.12, YKKAP建設・設計関係者様向けWEB CATALOG APW, <https://webcatalog.ykkap.co.jp/iportal/CatalogSearch.do?method=catalogSearchByAnyCategories&volumeID=YKKAPDC1&categoryID=4147070000&sortKey=CatalogMain2210000&sortOrder=ASC&designID=pro>

9) リショップナビ, 2021.03.30, どれがお好み? フロア 11 種類まとめ! 床材の種類・張り替え価格の違いもご紹介, <https://rehome-navi.com/articles/130>

10) リフォーム, 床材の種類を解説! フローリングやクッションフロアなど種類別にご紹介, <https://reform-market.com/wooden-floor/contents/floor-select>

11) LIXIL, 商品ラインアップ カテゴリーから探す>インテリア建材>床, <https://www.lixil.co.jp/lineup/interior/floor/>

12) ハピすむ, 2019.1.31, 玄関の床を大理石にリフォームする費用は? <https://hapisumu.jp/entrance-a190227/>

13) プロヌリ, 8種類ある屋根材を徹底比較! 選ぶポイントや価格・耐用年数も解説!, <https://pronuri.com/articles/2264>

14) LIXIL, カタログ>カタログ閲覧:玄関ドア・引戸(建築関係者さま向け), https://www2.lixil.co.jp/rp/dfw/exsas6/webcatalog/kentikumuke.aspx?cate_cd=K1021

- 15) YKKAP, 2022, 1, YKKAP建設・設計関係者様向けWEB CATALOG 玄関ドア・引き戸, <https://webcatalog.ykkap.co.jp/iportal/CatalogSearch.do?method=catalogSearchByAnyCategories&volumeID=YKKAPDC1&categoryID=4147110000&sortKey=CatalogMain210000&sortOrder=ASC&designID=pro>
- 16) sangetsu, デジタルカタログ壁紙, https://www.sangetsu.co.jp/digital_book/wall.html
- 17) 小室達哉, 松本俊之, 2009, 環境と経済の関係を教育するためのボードゲーム“エコポリー”の開発, 教育システム情報学会誌, Vol. 26, No. 4 2009, pp. 339-348, https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsise/26/4/26_339/_pdf/-char/ja

8. 添付資料



図1. パズルピース

床 (左上), 屋根 (右上), 壁 (左下), 断熱材 (右中央), 窓 (中央下), ドア (右下)

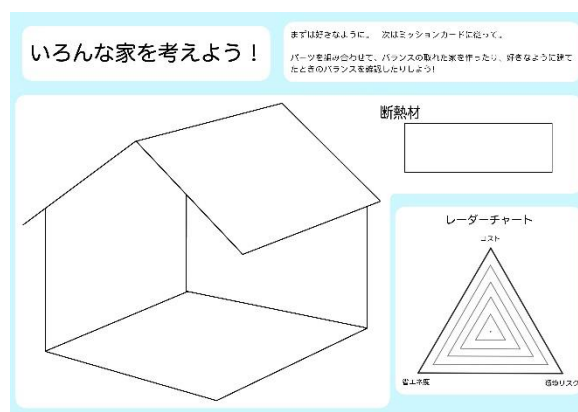


図2. 台紙



図3. ミッションカード

めざせ！食堂のフードロスゼロ！

～食べ残しを減らすために～

白澤里砂 西彩希子 林真由

要旨

食堂のフードロスの削減を目的として、アンケート調査とインタビュー調査を行った結果、食品ロスに対する意識が高く、食べ残しの処理方法に問題があると分かった。そこで、ポスターの掲示や食堂への研究結果の提示を行うという結論に達した。

1. はじめに

食べ残し、売れ残りや期限が近いなど様々な理由で、食べられるのに捨てられてしまう食品「食品ロス」。日本の食品ロス量は、年間 570 万トン、毎日、大型トラック(10 トン車)約 1,560 台分の食品を廃棄している¹⁾。先行研究より、洛北高校の生徒は「食品ロス」という言葉を知っている割合が 97.3%、食品ロス削減のために気を付けて取り組んでいるという割合が 54.6%という結果が得られた。これより、生徒の食品ロスに対する意識は高いと考えられるので、食堂側の対策によってもっと食べ残しの量を減らすことができるのではないかと考えた。

2. 材料・研究方法

2-1. アンケート調査

本研究では、各教室で用紙を配布することによって、洛北高校 2 年生 259 人を対象としたアンケート調査を実施した。

【質問 1】「食堂で食べ残しをしたことがあるか？」

【質問 2】「(【質問 1】で『①ある』と答えた人)食べ残した理由は？」

【質問 3】「(【質問 1】で『①ある』と答えた人)食べ残したものをどのように処理したか？」

【質問 4】「(【質問 1】で『①ある』と答えた人)食べ残した量はどの程度か？」とアンケートを作成した。

2-2. インタビュー調査

2-2-1. 不二家商事の本校食堂担当者

株式会社不二家商事様の本校食堂担当者の方に電話でインタビューを実施した。

- ①「廃棄量の測定方法」
- ②「1 日 1 校当たりの廃棄量」
- ③「廃棄する理由」
- ④「これらの工夫によって実際に数値的な成果が出ているのか？」

以上の 4 つの質問を行った。

2-2-2. 洛北高校の食堂の調理員の方々

本校食堂で実際に働く調理員の方々に直接インタビューを行った。

- ①「売れ残り・食べ残しの処理方法」
- ②「1 日 700 g 廃棄が出ると不二家商事職員から聞いたが、その基準は何か」
- ③「生徒のニーズの調査方法」

以上の 3 つの質問を行った。

3. 結果

3-1. アンケート調査の結果

【質問 1】では、「食べ残しをしたことがある」と回答した人は 10%、「食べ残しをしたことがない」と回答した人が 90%だった (図 1)。

【質問 2】では、「量が多い」と回答した人が 59%と過半数を占め、「メニューが口に合わなかった」

が24%、「途中から味に飽きた」が10%、その他が7%と続いた（図2）。

【質問3】では、「捨てる」と回答した人が59%、「友人にあげる」が14%、「時間を空けてから食べきる」が21%、「持ち帰る」が3%だった（図3）。

【質問4】では、「4分の1程度」と回答した人が38%、「少しだけ」が62%という結果になった（図4）。

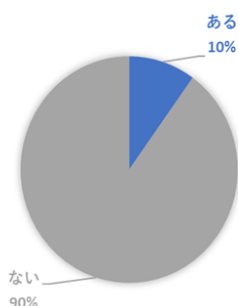


図1. 【質問1】 食堂で食べ残したことがあるか？

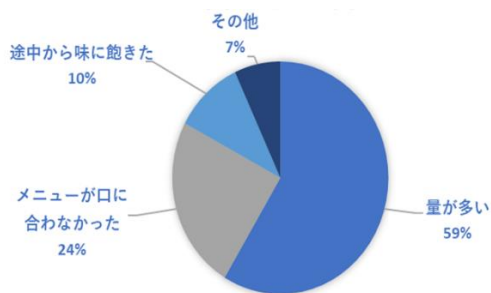


図2. 【質問2】 食べ残した理由は？

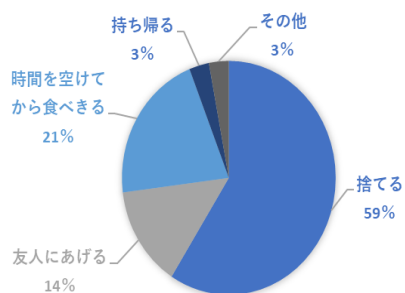


図3. 【質問3】 食べ残したものをどうしたか？

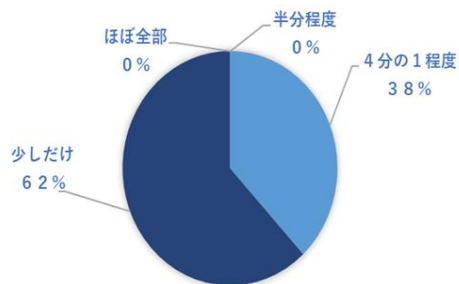


図4. 【質問4】 食べ残した量はどの程度か？

3-2. インタビュー調査の結果

3-2-1. 不二家商事の本校食堂担当者²⁾

①「廃棄量の測定方法」については「生ごみ(調理ごみ)を10年以上各学校から測定している」と回答を得た。

②「1日1校当たりの廃棄量」については「平均700g」。

③「廃棄を減らすための工夫」については「メニューを幅広く設置し人気のないものを削除してメニューを絞る」という回答を得ることができた。

④「(③を踏まえて)工夫する理由」については「京都府教育委員会の廃棄量削減のプロジェクトの一環」

⑤「これらの工夫によって実際に数値的な成果が出ているのか」という質問に対しては「測量開始時よりも廃棄量が減少している」という回答だった。

3-2-2. 洛北高校の食堂の調理員の方々

①「売れ残り・食べ残しの処理方法」については「すべて処分する」

②「1日700g廃棄が出ると不二家商事の担当者から聞いたが、その基準は何か」という質問に対して「生ごみはほとんど出ないため1日700gという数値は少ないが、売れ残りや食べ残しはその測定数値には含まれない」という回答だった。

③「生徒のニーズの調査方法」については「券売機でその日売れた枚数が分かるため、それを毎日記録し集計を統計化する」という回答を得ることができた。

4. 考察

図 1 より食べ残しをしたことがある人は回答者全体の内 10%, 図 4 よりその中で食べ残した量が「少しだけ」と答えた人が 62%という結果より, 食堂で食べ残しをしたことがある人の割合は少なく, また食べ残しの経験がある人もその量は少ないことが分かり, 先行研究からの仮説の通り生徒の食品ロスに対する意識は高いと考えられる。しかし, 図 3 より食べ残しの処理方法に注目してみると, 59%が「捨てる」と回答している。食品を捨てることで最終的には食品ロスに繋がるため, この割合を減らすための対策を考え, 実行することが必要である。

図 2 より食べ残す理由は「量が多い」が 59%と最も多いことがわかる。現在, 洛北高校の食堂は新型コロナウイルス感染症の予防対策のため, 従来のメニューを注文して食堂内で食べて食器を返却口まで返すという方式を廃止している。その代わりに, 同じサイズで異なるメニューのものが 2 つ, これら 2 つとは容器サイズもメニュー内容も異なるものが 1 つの計 3 つの弁当が日替わりで用意されている。弁当の空になった容器は, 食堂に設置された専用ごみ箱に捨てることになっている。サイズの選択肢が少なく, 一番小さなサイズでも食べきれないという生徒が食べ残しをしてしまうのではないかと考えられる。また, 以前の制度では調理員が近くにいる返却口に食器を返すことで食べ残すことに対して罪悪感を抱き食べきる意識の高さを維持できていたが, 現在の制度では人目につかないごみ箱に捨てることができるので以前より気軽に食べ残しができるのではないかと考えた。

5. まとめと今後の課題

洛北高校食堂における食品ロスの最も問題視すべき原因は, 食堂で現在提供しているメニューの量が一部の生徒に合っていないことと生徒の食べ残しの処理方法である。

そこで, 私たちは二つの対策法を考えた。

現在, 食堂のメニューはサイズも料理も異なる 3 つで展開されている。ここで, 同じメニューで 2~3

個サイズの種類を増やして販売することを提案する。もし最初から自分に合った量を好きなメニューで選ぶことができれば, 「量が多い」という理由からの食品ロスは削減できるのではないか。また, この方式による販売を開始することによって, 「メニューが口に合わなかった」「途中から味に飽きた」等の料理の味に関する不満を原因とする食品ロスも減らすことに繋がるのが期待できる。これらの理由で食べ残しをしたことがある人は, 初めてそのメニューを頼み, 味が予想していたものと違ったために食べ残したと考えられる。そのため, 初めて食べるメニューは小さいサイズのものを頼む等, 生徒の意識次第で廃棄量の削減が可能になるだろう。

これに加えて, 食堂・教室・廊下に食べ残しの注意喚起を目的としたポスターを掲示することを考えた。図 5 は私たちが考えたポスター案である。不二家商事食堂担当者から聞いた 1 日 700 g の廃棄物が出ているというデータをもとに, 1 ヶ月(登校日 22 日と定義し計算)分の廃棄量と同等の重さである食品を例に, 生徒に危機感を持ってもらう狙いがある。また, やむを得ず食べ残しをしなければならない場合の対応方法を示し, 食品を捨てることを未然に防止する目的がある。今後はこのポスターを実際に校内に掲示し, 現状より廃棄量が減ったのか, ポスターを掲示する前と比較して生徒の食品ロスに対する意識が向上したのかについて調査するアンケートを行い, 効果の立証を行いたい。

また, 本調査で行った生徒に対するアンケート回答者の母数を増やし, 公立, 私立, 共学, 男子校, 女子校等によって違いがあるのかを調べ, より普遍的な値を出すことで課題を明確にし, 高校食堂全般の課題解決に繋げたい。

6. 謝辞

この研究を遂行するにあたってご協力いただいた株式会社不二家商事様, 洛北高校食堂調理員の方々, 宮崎県立五ヶ瀬中等教育学校の方々ありがとうございました。そして, 本研究の趣旨を理解し快く協力していただいた, 調査対象者の皆様に心から感謝します。本当にありがとうございました。

7. 参考文献

- 1) 農林水産省, 2016.12.27, 食品ロスとは,
https://www.maff.go.jp/j/shokusan/recycle/syoku_loss/161227_4.html, 2021.12.20
- 2) 株式会社不二家商事, 不二家商事,
<https://fujiyashoji.co.jp/>, 2021.7.15

8. 添付資料



図5. 食堂に掲示するポスター案

声の形

～アンケート及び音解析実験を用いた印象調査～

久米駿佑 池田樹紋 白井悠登

要旨

スピーチ等、情報を正確に伝えなければならないときにおける最適な話し方を確立することを目標に研究を進めた。本校生徒にあらかじめ作成した文章を発話してもらい、音声データを収集した。それを別の生徒の集団に聞かせることで、印象調査を行った。また、音解析ソフト「Praat」を用いて音声を解析し、それを印象調査の結果と照らし合わせて、明瞭に聞こえる音声の特徴を明確にしようと試みた。

1. はじめに

人間における発話は、コミュニケーションにおけるキーファクターであり、音声がはっきり聞こえるか否かが、重要であると考えられる。その基準となる単位を「明瞭度」と表すが、その明瞭度は正確に数値化されて定められているわけではない。先行研究では、構音障害者と健常者を音声学的に比較する方法¹⁾で研究されていたが、最終的に明瞭度の数値化には至っていない。このため、本研究では、音声の高低を表すピッチと、音声のスピードを、明瞭度を測る指標として研究を行うことにした。また、一口に発話といっても、日常会話や演技など、様々なシチュエーションがある。その中で、「明瞭度」が最も重要となる、情報を正確かつ分かりやすく伝達しなければならない場面と考えた結果、スピーチが適していると考えた。そして、明瞭度を数値化することで、スピーチの際に意識しなければならないことを具体的かつ簡潔に示すことを目標として研究を行った。我々は、人間の音声を人間が聞く、実際の発話に近い状況で実験を行うことが必要だと考え、本校生徒を対象としたアンケートを用いた音声の印象調査を行った。また、印象調査で用いた音声を音声学的に解析することによって、「明瞭度」を数値化し、可視化して分かり易くするために、音解析ソフト「Praat」を用

いた音声解析実験を行った。下に結果を記す。

2. 材料・研究方法

2-1. アンケート調査

京都府立洛北高等学校・附属中学校の生徒から、生徒二人を男女別で選定し、我々が事前に作成した文章を発話してもらい、その音声を録音した。その際、発話速度が「速い」、「普通」、「遅い」の三段階を作るため、発話者と相談した結果、言い間違いなどをせず、発話者が自然だと感じられる範囲でスピードを上げ下げできる限界のスピードと、その時の、発話開始から発話終了までの経過時間を設定した。その結果、「速い」の時の経過時間が10秒、「普通」の時の経過時間が13秒、「遅い」の時の経過時間が17秒となった。また、アンケートの項目を、「高さの評価」、「速度の評価」、「総合的な評価」の三つ設定した。そして、音声を男女に分けて、それぞれを別の集団に聞いてもらい、三つの項目それぞれを、「聞き取りやすさ」について、「とても聞き取りやすい」を1、「とても聞き取りにくい」を7とし、7段階で評価してもらった。この母集団については、先入観による評価を防ぐため、発話者本人や本人と親しい人がいない、もしくは、少ない集団を選ぶことにした。

2-2. 音解析実験

2-1 で録音した音声を「Praat」で解析した。なお、添付資料図1～6の上半分にある2つの波形はどちらも横軸は時間、縦軸は音の大きさを表しており、波形が大きいほど音が大きいことを示す。また、下半分の実線は、音声の高低を示す「pitch」を表す。

3. 結果

3-1. アンケート調査の結果

2-1のアンケート調査では、男女それぞれ6つずつの音声を聞いてもらい、それを7段階で評価してもらった。

まず、男性について結果を表にまとめた。①、②が「普通」、③、④が「速い」、⑤、⑥が「遅い」の音声データである。また、①、③、⑤が、ピッチが低い音声で、②、④、⑥が、ピッチが高い音声。1～7の7段階で評価され、数字が小さければ小さいほど評価が高く、大きければ大きいほど、評価が低い。次の表上の数値は、全員の評価の値の平均値である。その結果が次の表1である。

表1. 男性の音声の結果表

	高さ	速度	総合
①	2.875	2.65	2.725
②	2.975	3.0	3.025
③	4.95	3.125	4.0
④	2.825	2.85	3.0
⑤	5.925	3.45	5.225
⑥	5.275	3.975	4.575

上の表より、全体の評価が最も高かったのが、①の音声であった。①はピッチが低く、速さが「普通」の音声であった。また、最も評価が低かったのが、⑤の音声であった。⑤はピッチが低く、速さが「遅い」の音声であった。

また、①、②の音声の評価が高く、⑤、⑥の評価が低いという傾向にあった。

続いて、女性について結果を表2にまとめた。⑦、⑧が「普通」、⑨、⑩が「速い」、⑪、⑫が「遅い」

の音声データである。

表2. 女性の音声の結果表

	高さ	速度	総合
⑦	2.658	2.658	2.711
⑧	4.289	2.974	3.739
⑨	2.763	5.605	4.789
⑩	4.447	4.974	5.053
⑪	2.342	4.158	3.553
⑫	4.447	4.053	4.395

上の表より、全体の評価が最も高かったのが、⑦の音声であった。⑦は速度が「普通」の音声であった。また、最も評価が低かったのが、⑩の音声であった。⑩は、速度が「速い」の音声であった。

また、⑦、⑧の音声の評価が高く、⑨、⑩の音声の評価が低いという傾向にあった。

これらの結果を、「高さ」、「速度」、「総合」の三項目で評価が高かった順にランク付けし、上位二位と下位二位を抜き出した。

まず、男性について結果を表3にまとめた。

表3. 男性の音声のランキング

男	速度	高さ	総合
1位	④2.825	①2.65	①2.725
2位	①2.875	④2.85	④3
5位	⑥5.275	⑤3.45	⑥4.575
6位	⑤5.925	⑥3.575	⑤5.225

上の表からもわかる通り、上位二位には、①、④のみが、下位二位には⑤、⑥のみがランクインした。続いて女性について結果を表4にまとめた。

表4. 女性の音声のランキング

女	速度	高さ	総合
1位	⑦2.658	⑪2.342	⑦2.711
2位	⑧2.974	⑦2.658	⑪3.553
5位	⑩4.974	⑩4.447	⑨4.789
6位	⑨5.605	⑫4.447	⑩5.053

上の表より、「速度」の上位には⑦、⑧が、「高さ」の上位には⑦、⑪が、「総合評価」の上位には同じく⑦、⑪がランクインし、三項目ともに共通してい

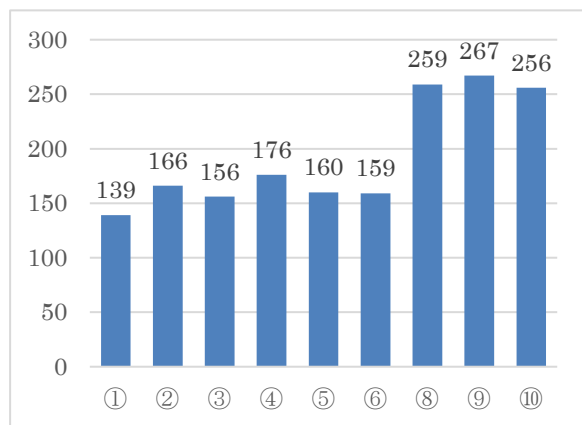
たのは、⑦の音声であった。また、「速度」の下位には⑨、⑩が、「高さ」の下位には⑩、⑫が、「総合評価」には再び⑨、⑩がランクインし、三項目ともに共通していたのは、⑩の音声であった。

3-2. 音解析実験の結果

解析結果は、添付資料図 1～9 にまとめた。

男性については、添付資料の図 1～4 から、pitch の差で評価が如実に変わるわけではなく、速度の変化が遅くなるのに伴って、徐々に評価が低くなっていく傾向にあることが分かった。

女性についてはスピードが速ければ速くなるほど評価が低くなる傾向にあることが読み取れた。



グラフ 1. 各音声の pitch の平均値

①～⑦と、⑧、⑩、⑫の音声の、それぞれの pitch の平均値を示す。

上のグラフより、男性は④が最も pitch が高く、①が最も pitch が低かった。女性は一人分しかサンプルがないため、一概には言えないが、⑨が最も pitch が高く、⑩が最も pitch が低かった。

4. 考察

アンケート調査の結果から、男性の音声の明瞭度について、男性の音声 pitch の全体の平均値が 159 であり、一つの音声の平均の pitch の値が同じく 159 である⑥は評価が最低であった。よって男性は全体の pitch の平均値に近いと聞き取りにくく、遠いと聞き取りやすいと考えられる。

また、女性については、pitch にあまり差がなくとも、大きく評価が分かれた。我々の研究では最初に明記した通り、高さスピードに焦点を絞って

いるため、当初の前提には合致しないが、スピードや pitch 以外にも音声の聞き取りやすさに影響を及ぼす要素は存在すると思われる。また、発話のスピードが速くなるごとに評価が下がるという傾向を把握することができた。

以上のことから、男性のように、音声の平均 pitch が低い発話者であれば、発話する際、スピードが遅くなっていないかどうかを強く意識することが、女性のように、音声の平均 pitch が高い発話者であれば、発話する際、スピードが速くなりすぎないかを強く意識することがそれぞれ、スピーチ等、情報を正確かつ分かりやすく伝達しなければならない場面における適切な話し方を確立するために必要な策であると言える。

5. まとめと今後の課題

得られた結果と考察より、男性は、pitch の平均値である 159 より高い、もしくは低い pitch で話すこと、また、発話スピードが遅くならないように、女性は発話スピードが遅くならないように意識することで、適切な話し方を確立することができると言える。

上の結果が出たことで、本研究の目的であった「スピーチ等、情報を正確かつ分かりやすく伝達しなければならない場面における最適な話し方の考察と、その際に意識しなければならないこと of 具体的なかつ簡潔な設定」は達成したといえるだろう。より高次の目標として設定していた「明瞭度の数字を用いての確立」を達成することはできなかったもので、これが今後の最も大きな課題である。

また、今回は、時間が不足していたことが原因となり、もともと予定していた、「教師の音声を用いた、成人男性及び女性の音声解析実験」を行えなかった。これに加え、体形や職業など、様々な要素を実験に加えたり、スピーチというシチュエーションでも、様々な種類に分けて実験を行ったりするなど、実験の前提条件そのものに多様性を持たせ、さらにこの実験を発展させていくことも、今後の課題としてあげられる。

6. 謝辞

総合地球環境学研究所の方々には、イベントやご指導など、様々な面でお世話になりました。心より感謝申し上げます。

7. 参考文献

1) 馬場良二, 2010, 言語音声の「明瞭度」の数値化, 評価を目指して—構音障害者と健常者の音声比較—. 熊本県立大学文学部紀要一, 16, 1-31.

8. 添付資料

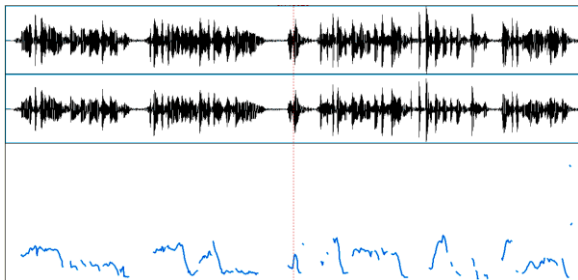


図 1

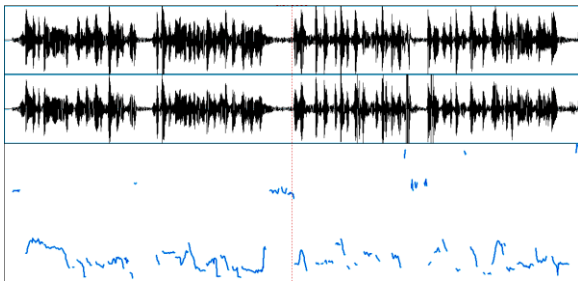


図 2

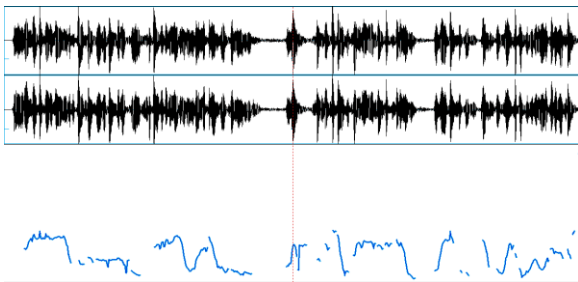


図 3

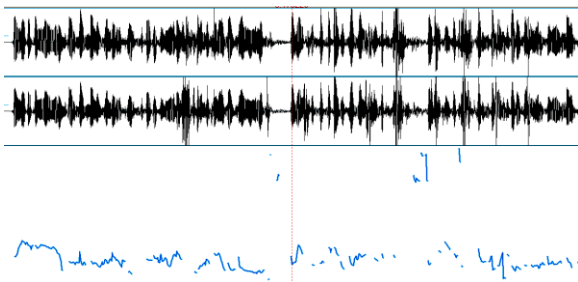


図 4

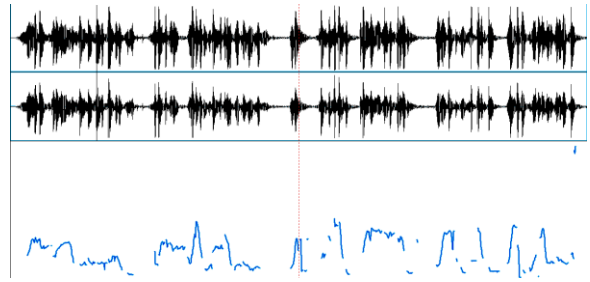


図 5

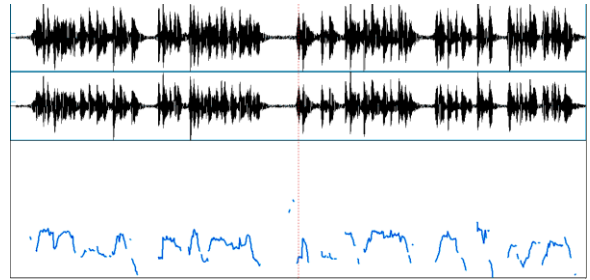


図 6

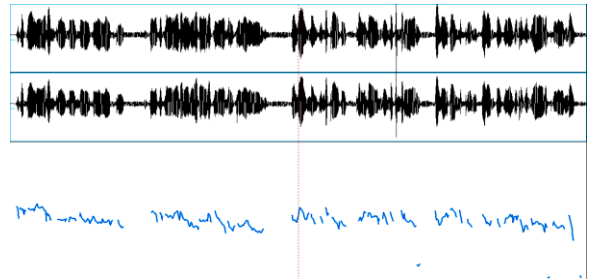


図 7

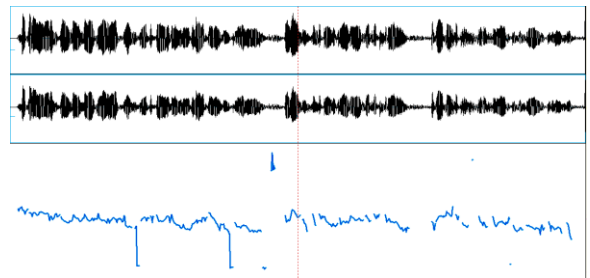


図 8

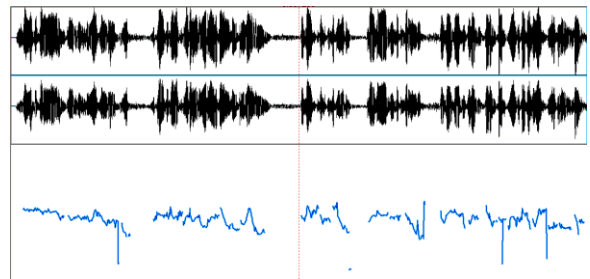


図 9

既存のテーピングに挑む！

～ テーピングの巻き方が足首の内反制限に及ぼす影響 ～

石田郷 西山常葉 三崎結衣

要旨

テーピングは、関節の可動域を制限する効果がある。その効果を調べるため、足首の模型を作成し、内反した角度を測ることにより、外側ヒールロックのテープが通る位置の違いによるテーピングの固定力の差を3種類の巻き方において調べた。結果、テープがアキレス腱から土踏まずの中心を通るようにした巻いたときに最も強く固定された。このときテープによる内反の制限への影響の大きさは3種類のうち2番目に大きかったが、このテープの伸びが小さかったので、固定力が最も強かったと考えられる。

1. はじめに

テーピングとは、けがの予防、再発防止、応急処置、除痛のために、テープ等によって主に関節を補強する施術である。関節を完全に固定するギプスと違い、運動に支障のない範囲で関節の可動域や筋肉の動きを制限することが特徴である。この特徴を生かし、テーピングの固定力を変化させることで、けがの程度や患部への負荷、受傷者の希望などに合わせたテーピングが可能になる。テーピングの固定力は、主にテーピングテープの素材、硬さ、伸縮性などによって決定される。これらを変える以外の方法で固定力を変えることができれば、施術方法の幅が広がるのではないかと考え、本実験ではテーピングの巻き方によってテーピングの固定力を変化させることを目的とした。テーピングが施されるケースとして最も多いのが足首内反捻挫であることから、今回は足首の内反を制限する「外側ヒールロック」という巻き方(図1)で実験を行った。なお、足首にテーピングを施すことにより、足関節の可動域は、特に背屈の方向に制限されることが報告されている²⁾。足関節は4つの関節からなる複関節で、様々な方向に曲げることができ、可動域を数値として計測することが困難

であったため、本実験では内反、外反方向にのみ曲げることができる足首の模型(図2)を製作し、実験を行った。

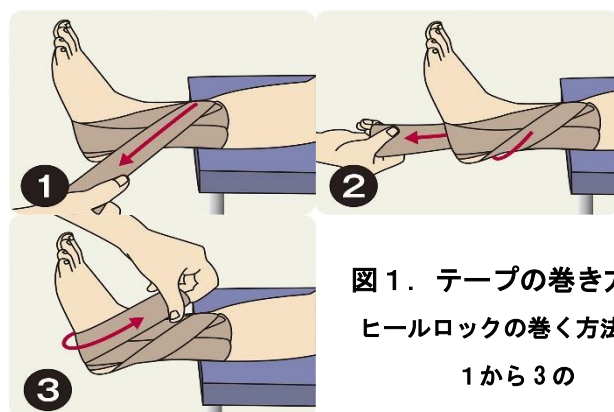


図1. テープの巻き方¹⁾
ヒールロックの巻く方法を
1から3の
手順で表したもの。



図2. 足首の模型
製作した足首の模型

2. 材料・研究方法

2-1. 材料

モデルに使った材料は、石膏、かたとーる(型取り剤:吉野石膏株式会社製),紙粘土,ウレタンコート LR+(コーティング剤:Office Accel 社製),キャスター(直径 30 mm),金属板,分度器(重りがつるされている)である。また,使った道具は段ボール,バケツ,養生テープ,両面テープ,メタルロック(接着剤:セメダイン株式会社製),ネジ,ドリル,カッター,筆である。

モデルは次のような手順で作った。接着にはメタルロックを使用し,7日間乾燥させた。

- ① 内側に養生テープを貼った段ボールに型を取る人の足を入れ,かたとーるを流し込んだ。
- ② 約 15 分後,固まったかたとーるから足を抜き,水と 10 分程度混ぜておいた石膏を流し込んだ。
- ③ 7 日後,固まった石膏を取り出し,形を整えて足部を作った。また,下脚部を紙粘土で作った。
- ④ これらにウレタンコート LR+を筆で塗って 7 日間乾燥させる作業を 3 回繰り返した。
- ⑤ 横回転しないように接着したキャスターにドリルとネジで金属板を固定し,足部分と接着した。
- ⑥ 下脚分に分度器と,計測時に用いる付け外しできる重り(100 g)を取り付け,足部の金属板と接着した。

2-2. 足首の模型へのテーピング方法

この模型に 3 種類の外側ヒールロック A, B, C を施した(図 3)。A では,外側ヒールロックでテープを足首の内側に巻く手順(図 1 の②の手順)の際に,テープがアキレス腱(かかとから 13 cm 上)から土踏まずの中心(かかとから 4.3 cm 右)を通るようにした。B では,同じ手順の際に,アキレス腱の 3.0 cm 下,土踏まずの中心から 3.0 cm かかと側を通るように, C ではアキレス腱の 3.0 cm 上,土踏まずの中心から 3.0 cm つま先側を通る

ようにテープを巻いた。

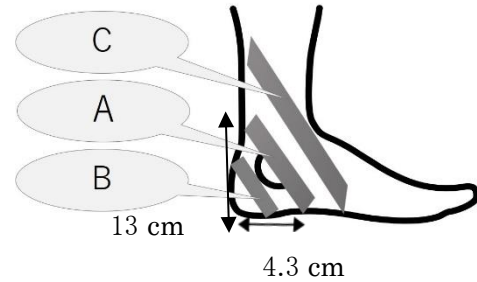


図 3. 3 種類のヒールロック
内側から見た右足を模したもの。



図 4. 足首の模型 (計測時)
分度器と糸で角度を測った。



図 5. 足首の模型 (重り付き)
足首が内反するように重りを付けた。

2-3. 計測方法

図 4 のように,足の部分は足首の土踏まず側の面が机と平行な状態で,手で机の上に固定し,脚の部分は重りによる負荷に応じて自由に動くようにテーピングを施した模型を置いた。まず,重りをつけない状態で模型を置き,分度器と糸によって

示される数値を記録した。その後、模型に足首が内反するように重りをつけ(図 5)，再び角度を記録し、重りを取り外した。試行回数による固定力の変化を調べるために、この作業を3回連続して行い、それぞれにおいて、重りを付けない状態での角度と重りをつけた状態での角度の差を算出した。この一連の動作を A, B, C の3種類の巻き方で行った。

3. 結果

模型は、重りを付けると内反方向に曲がり、その後重りを外すと、元に戻る方向に動いたが、完全に戻ることはなかった。模型に取り付けられている分度器において、地面と鉛直方向を 0°とし、そこから足首が外反する方向を正、内反する方向を負となるように目盛りを目視で読みとった。よって、読み取った値が正の際は、足首は外反方向に曲がっており、負の際は内反方向に曲がっている。結果は表 1(A, B, C)のようになった。A の巻き方において、1回目、2回目および3回目の試行の重りをつける前後の角度の差は、それぞれ 9.5°、5.4°、8.2°となった。同様に、B の巻き方では 14°、12°、12°となり、C の巻き方では 18°、11°、13°となった。この結果をもとにグラフを作成した(図 6)。A, B, C の巻き方における角度の差を比較すると、A の位置に巻いたとき、最も差が小さくなった。1~3回目における、角度の差は2回目が最も小さくなった。

表 1. 測定結果 (A, B, C)

おもりをつける前とつけた後、それらの差を表す。

A			
	重りをつける前(°)	後(°)	差(°)
1回目	5.6	-3.9	9.5
2回目	2.0	-3.4	5.4
3回目	0.64	-7.6	8.2
平均	2.7	-5.0	7.7

B

	重りをつける前(°)	後(°)	差(°)
1回目	8.7	-5.2	14
2回目	5.5	-6.4	12
3回目	4.3	-7.8	12
平均	6.2	-6.5	13

C

	重りをつける前(°)	後(°)	差(°)
1回目	3.3	-15	18
2回目	-2.4	-14	11
3回目	-3.6	-17	13
平均	-0.92	-15	14

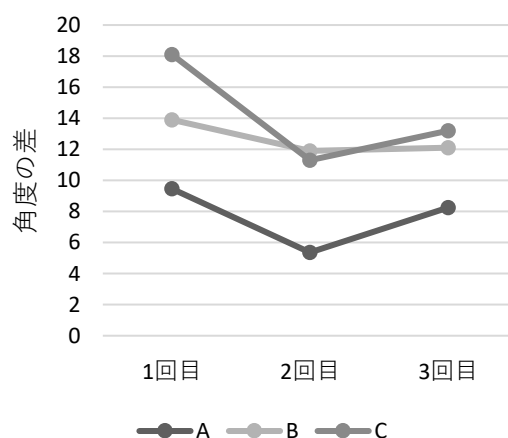


図 6. 測定結果のグラフ

横軸は各試行回における A, B, C のデータ、
縦軸は測定した数値を表す。

4. 考察

どの巻き方においても、2回目で差が小さくなった。このことは、テープの伸びが関係していることが考えられる。今回実験に使用したテープはスポーツタイプと呼ばれるもので、伸縮性がある。そのため、一度力がかかることでテープが伸び、2回目の測定では、テープが伸びた状態で始まった。そのため、2回目におもりをつるしたときはテープの伸縮した長さが短くなったと考えられる。そのた

め角度の差が小さくなったと示唆される。

次に、3回目の測定では、差が2回目に比べて大きくなった。3回目に重りをつるすことで、さらに負荷が加わり、テープがさらに伸びて長くなり、固定力が小さくなったと考えられる。

一方、A・B・Cにおける角度の差は、Aが最も小さくなった。図4からも分かるように、足と脚は、テープが2つの場所ではつながつている。そのうち、図7の着色したテープが、足首の内反の制限に最も影響している。Bの巻き方をしたとき、このテープはちょうど足関節を包むように通ったため、最も関節を固定すると考えられる。そのため、重りをつける前の内反角度はBが最も小さかった。しかし、角度の差はAが最も小さくなった。Bの角度の差が大きくなった理由は、足と脚の接着されていない部分の長さが関係していると考えられる。Bは、キャスト側から遠い位置を通り、足と脚の接着されていない部分の長さが長い。よって、テープが伸びて角度の差が大きくなった。

Cの巻き方をしたとき、図7の着色したテープは足関節から大きくはずれた位置にあり、固定に与える影響が最も小さい。よって、角度の差が大きくなった。

Aでは、図7の着色したテープの内反の制限への影響はBほど大きくなかったが、このテープの伸びがBより小さかったため、結果として固定力が最も強かったと示唆される。



図7. 足首の内反制限に影響を及ぼすテープ
黒く着色されたテープが特に影響を与える。

5. まとめと今後の課題

足首の内反を制限する「外側ヒールロック」というテーピング方法における足首の内側にかかるテープは、アキレス腱から土踏まずの中心へと通したとき、最もテーピングによる関節の固定力が強くなる。よって、足関節の可動域を残したい場合は、つま先側やかかと側にテープを巻き、強い固定力を求める場合は真ん中に巻くといったように、この結果を利用することができる。例えば、アレルギーなどが原因で、固定力を変えるためにテープの種類を変更できないときに、本実験のように巻き方を変更させることで固定力を変えることができる。

今回の実験は伸縮性のあるテープを用い、テープの伸びが結果に大きく影響した。今後は伸縮性のないテープで同様の実験を行い、より正確に、テーピングの巻き方がテーピングの固定力に及ぼす影響を調べたい。

6. 参考文献

- 1) ミューラージャパン公式コラム, 2018.07.04, 足首の捻挫予防の応用編「ヒールロック」, <https://www.muellerjapan.com/blog/archives/13495/>, 2021.7.8
- 2) スポーツ医科学領域 日暮 恭子 指導教授 桜庭 景植, 2006, 足関節捻挫経験者における足関節テーピングが足関節および膝関節周囲筋へ及ぼす影響. 〈2006年度大学院スポーツ健康科学研究科修士論文要約〉, 1, https://www.juntendo.ac.jp/hss/albums/abm.php?f=abm00008288.pdf&n=vol11_p129.pdf

ドミノ倒しの多角的考察

～ 実験と計算のアプローチ ～

石倉燦旭 佐藤幹栄 田中悠飛 藤井誠 若野健真

要旨

ドミノ倒しには間隔や大きさなど様々な変数が存在し、多様な実験を行うことができる。本研究ではドミノ同士の間隔を変数としてドミノを一列に並べて倒し、その速度を計測した。結果として、間隔が 1.7 cm の時にドミノが倒れる速度が最速となることが分かった。その間隔の時には初速度の大きさにかかわらず一定の速度に達した後は、そのまま等速運動のような振る舞いを見せた。その主な原因は、衝突時の力の伝わる向きの違いによるエネルギー損や倒れている最中の進む方向と逆向きの重力のモーメントであると結論付けた。また計算では、間隔が 1.90 cm のときに最速となった。

1. はじめに

ドミノ倒しは立てて倒すという単純な作業であるが倒れ方を波の伝播という科学的な視点で見るととても奥深い。先行研究では、ドミノのシミュレーションプログラム¹や、目視での計測実験²などが行われていたが、理論的な考察があまり深くは行われていなかったり、正確性に疑問が残るものであったりした。そこで私たちはスマートフォンのカメラアプリのスローモーション機能を用いた計測により精度を向上させて、間隔を変数とした実験を行い、理論的な考察を行った。

2-1. 使用器具

○ドミノ

正式名称: 日本ドミノ協会公認 本格ドミノ牌

製造元: ハナヤマ

サイズ: 横 2.3 cm 縦 4.6 cm 幅 0.8 cm

材料: プラスチック

○iPhone12 (240fps, 撮影用)

○ゴムマット (ドミノを並べる際に下に敷いた)

材料: 天然ゴム

2-2. 実験方法

まず、50 個のドミノを等間隔に並べ、5 個ずつ

の 10 区間に分ける。初速度等の影響をなるべく小さくするため、先頭から数えて 5 つ目のドミノ (1 区間目の最後のドミノ) が倒れ始めた瞬間を $t = 0$ として各区間の最後のドミノが倒れ始めるまでに要した時間を計測した。間隔を 1.4 cm から 1.8 cm まで 1 mm ずつ変えて*、各々三回ずつ計測し、その平均をとって測定精度があがるようにした。図 1 のようにドミノとストップウォッチを同時に写し、スローの映像を撮ってそれを確認することで倒れ始めた時間を記録した。

*先行研究において伝播速度が最速となる間隔が 1.7 cm であると結論づけられていたもので、誤差があることも考慮して 1.4~1.8 cm で実験を行った。

2-3. 実験結果

倒れ始めた時間の階差をとり、各区間を倒れきるのにかかった時間をまとめると、表 1 のようになった。さらに区間の距離 (ドミノの幅と間隔の和) を時間で割ることで各区間の伝播速度 (cm/s) を求めた。(図 2)

図 3 のように全体を通しての速度をみると、間隔が 1.7 cm の時最速となったが 1.6 cm と 1.7 cm の時であまり差が見られなかったので最速とな

る間隔は 1.6 cm から 1.7 cm の間にあると考えられる。

2-4. 実験の考察

ドミノ倒しは常に後ろから力を加えられているのに等加速度運動ではなく、等速運動のような振り舞いを見せたのはなぜだろうか(以下これを疑似的等速運動とする)。初速度を変えて実験を行っても最終的な速度は上の結果と同じようになった。つまり倒れる方向と逆向きに働く力があると考えられる。それは重力によるモーメントではないかと考えた。

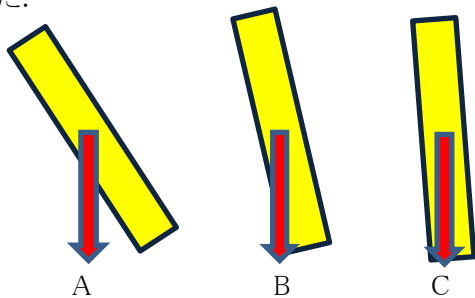


図 4

図 4 のように A のときは重力によるモーメントが反時計回りにかかるが、B に達するまでの C のような状態では、重力によって逆向きの力がかかり、倒れる速度が減衰するのではないかと考えた。

また、間隔が 1.7 cm よりも小さくなればなるほど、大きくなればなるほど伝播速度が小さくなったのはなぜだろうか。間隔が小さいということはドミノが加速するために必要なスペースが少ないということの意味するので、十分加速することができずに伝播速度は小さくなった。一方、間隔が大きいとき(E)は加速するためのスペースは十分にあるが、図 5 のように前のドミノにあたる角度が大きくなることで、前のドミノに伝わる力が D よりも小さくなったからだと考えられる。

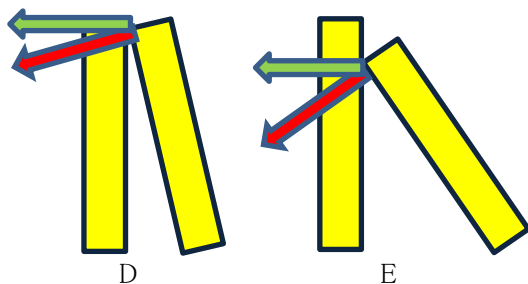


図 5

さらに、Excel を用いて、計算を行い最大速度を求めた。

3-1. プログラムによる計算

先行研究のプログラム³⁾を参考にしつつ、より精度の高い計算結果を得るために先行研究の中で今後の課題として触れられていた『牌の厚さによる影響や衝突した後の後ろの牌が前の牌に与える影響』を考慮した上で Excel の Visual Basic for Application を用いてプログラムを作成した。

簡単な説明及びプログラムを添付した(図 6, 7) Excel でのプログラムの基本的な考え方

- ① a の初期値を 0.009 に設定
- ② 牌 1 の角速度の初期値 ω_0 を 10 に設定
- ③ ω_1 を算出
- ④ 0.0001 秒後の牌 1, 2, 3 の傾きを算出
- ⑤ 牌 1, 2, 3 間ではたらく力から、そのときの牌 1, 2, 3 の角速度を算出。
- ⑥ 牌 1 の傾きが所定の値になったとき(牌 1 が次の牌に衝突したとき)、そのとき $\omega_0 > \omega_1$ なら、②に移動し、 ω_0 の値を 0.01 増加させ、 $\omega_0 \leq \omega_1$ になるまで繰り返す。
- ⑦ $\omega_0 \leq \omega_1$ になったとき、所要時間を t とし、 $a, v=(a+n)/t$ を記録し、①に移動して、a の値を 0.0005 増加させ、繰り返す、 $a = 0.030$ になったとき作業を終了する。

3-2 計算結果

先行研究の計算より精度の高い計算により、より正確な結果を算出することができた。計算の結果、牌の間隔と速さの関係は図 8 のようになり、0.017 m~0.021 m の間に速度が最も速くなる間隔があると考えられたが、差がほとんどなかったためその区間に限定したより精度の高い計算(3-1の①の 0.009 を 0.0175 に、④の 0.0001 を 0.00001 に、⑥の 0.01 を 0.001 に、⑦の 0.030 を 0.021 にそれぞれ変更した)を行った(図 9)。結果、牌の間隔が 0.019 m のときに最速となった。これは、実験で最速と結論付けられた間隔よりも

広い間隔であり、速度も、計測した値と比較して速くなった。

4. まとめと今後の課題

牌の速度が最速となる間隔について、実験で求められたものの方が、計算で求められたものよりも短かったのは、間隔が広くなれば広がるほど、牌同士の摩擦力や空気抵抗が大きくなるからであると考えられる。最速となったときの速度について、計算により求めたものの方が実験により求めたものよりも速かったのも、牌同士の摩擦力や空気抵抗、反発によるものだと考えられる。それらの要素を計算に組み込むことで、さらに精度の高い計算結果を得ることができるだろう。

5. 参考文献

1) https://www.jstage.jst.go.jp/article/kikaic/78/788/78_788_1133/_pdf-char/ja

(ドミノの転倒波の伝播モデリング)

2) <https://school.gifu-net.ed.jp/enahs/ssh/H24ssh/sc3/31211.pdf>

(ドミノ倒しの研究)

3) <https://www.cfs.chiba-u.jp/koudai-renkei/information/files/domino.pdf>(ドミノ倒しの進行速度について)

6. 添付資料



図1 撮影の様子

表1 各区分ごとの転倒に要した時間(秒)

1.4cm	section2	3	4	5	6	7	8	9	10	total time
一回目階差	0.13	0.11	0.11	0.1	0.12	0.12	0.1	0.08	0.12	0.99
二回目階差	0.13	0.12	0.12	0.09	0.11	0.1	0.09	0.13	0.12	1.01
三回目階差	0.12	0.11	0.11	0.11	0.1	0.09	0.1	0.12	0.12	0.98
average1.4	0.127	0.113	0.113	0.100	0.110	0.103	0.097	0.110	0.120	0.993
1.5cm										total time
一回目階差	0.14	0.11	0.13	0.09	0.12	0.11	0.11	0.1	0.13	1.04
二回目階差	0.13	0.1	0.14	0.09	0.12	0.11	0.09	0.12	0.1	1
三回目階差	0.13	0.12	0.11	0.12	0.14	0.08	0.11	0.12	0.12	1.05
average1.5	0.133	0.110	0.127	0.100	0.127	0.100	0.103	0.113	0.117	1.030
1.6cm										
一回目階差	0.12	0.11	0.12	0.1	0.14	0.11	0.11	0.11	0.11	1.03
二回目階差	0.14	0.1	0.13	0.11	0.13	0.1	0.13	0.12	0.12	1.08
三回目階差	0.16	0.09	0.11	0.13	0.11	0.1	0.13	0.13	0.12	1.08
average1.6	0.140	0.100	0.120	0.113	0.127	0.103	0.123	0.120	0.117	1.063
1.7cm										
一回目階差	0.12	0.1	0.12	0.14	0.14	0.09	0.15	0.11	0.11	1.08
二回目階差	0.12	0.12	0.11	0.12	0.14	0.13	0.11	0.12	0.13	1.1
三回目階差	0.13	0.16	0.12	0.14	0.14	0.1	0.13	0.11	0.11	1.14
average1.7	0.123	0.127	0.117	0.133	0.140	0.107	0.130	0.113	0.117	1.107
1.8cm										
一回目階差	0.13	0.13	0.14	0.11	0.12	0.14	0.11	0.15	0.13	1.16
二回目階差	0.16	0.11	0.14	0.12	0.13	0.11	0.12	0.12	0.14	1.15
三回目階差	0.12	0.16	0.11	0.16	0.09	0.14	0.13	0.13	0.14	1.18
average1.8	0.137	0.133	0.130	0.130	0.113	0.130	0.120	0.133	0.137	1.163

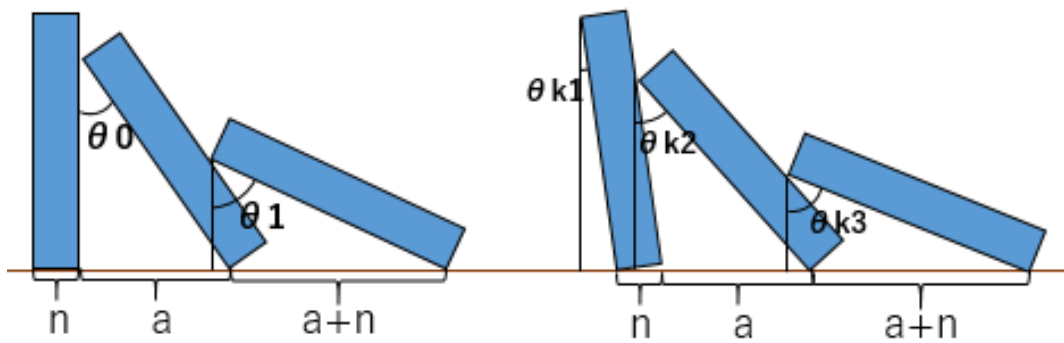


図6 簡単な説明

aは牌の間隔
nは牌の厚さ
rは牌の高さの1/2
mは牌の重量
gは重力加速度

角速度が一定であるものとする秒後牌2の角速度 ω_2 は牌1の各速度 ω_1 を用いて次式のように表される

$$\omega_2 = (\sin[\frac{(a+n)}{2}] * \sin[2 * (\theta_0 + \omega_1 * t)] - n * \sin[\theta_0 + \omega_1 * t]) / (r * \sqrt{4 * (\sin[\theta_0 + \omega_1 * t])^4 + (\sin[2 * (\theta_0 + \omega_1 * t)])^2}) - \theta_1 - \gamma) / t$$

ただし

$$\gamma = \text{ArcSin}[-2 * r * (\sin[\theta_0 + \omega_1 * t])^2 / \sqrt{4 * (\sin[\theta_0 + \omega_1 * t])^4 + (\sin[2 * (\theta_0 + \omega_1 * t)])^2}]$$

また、牌1,2,3の傾きをそれぞれ θ_{k1} , θ_{k2} , θ_{k3} とすると、牌同士の力のつり合いの式から牌1について、回転軸まわりの力のモーメントは

$$(((\frac{\sin[\theta_{k2} - \beta]}{2 * \cos[\beta]}) + (\cos[\theta_{k3}] * \cos[\theta_{k3} - \theta_{k2} + \alpha] * \sin[\theta_{k3} - \beta]) / (\cos[\theta_{k2} - \alpha] * 2 * \cos[\beta])) * m * g * \cos[\theta_{k2} - \theta_{k1}] * 2 * r * \cos[\theta_{k2}] * \cos[\alpha]) / (\cos[\theta_{k1} - \alpha] - \sqrt{r^2 + n^2 / 4}) * \sin[\beta - \theta_{k1}] * m * g)$$

慣性モーメントは

$$(4/3) * m * (r^2 + n^2 / 4)$$

トルクをT,慣性モーメントをI,角加速度をAとすると

$$T = IA \text{ であるから } A = T/I$$

$$A = (((\frac{\sin[\theta_{k2} - \beta]}{2 * \cos[\beta]}) + (\cos[\theta_{k3}] * \cos[\theta_{k3} - \theta_{k2} + \alpha] * \sin[\theta_{k3} - \beta]) / (\cos[\theta_{k2} - \alpha] * 2 * \cos[\beta])) * m * g * \cos[\theta_{k2} - \theta_{k1}] * 2 * r * \cos[\theta_{k2}] * \cos[\alpha]) / (\cos[\theta_{k1} - \alpha] - \sqrt{r^2 + n^2 / 4}) * \sin[\beta - \theta_{k1}] * m * g) / (4/3 * (r^2 + n^2 / 4))$$

ただし

$$\alpha = -\text{ArcTan}[(2 * r * \sin[\theta_{k3}] - a - n) / (2 * r * \cos[\theta_{k3}])]$$

$$\beta = \text{ArcTan}[n / (2 * r)]$$

0.0001秒毎にこの角加速度を角速度に反映し、同時に θ_{k1} , θ_{k2} , θ_{k3} , ω_1 , ω_2 を更新する。

これを衝突まで繰り返し行う。

繰り返した回数と0.0001の積が所要時間であるため、距離(a+n)/所要時間で速さが求まる。

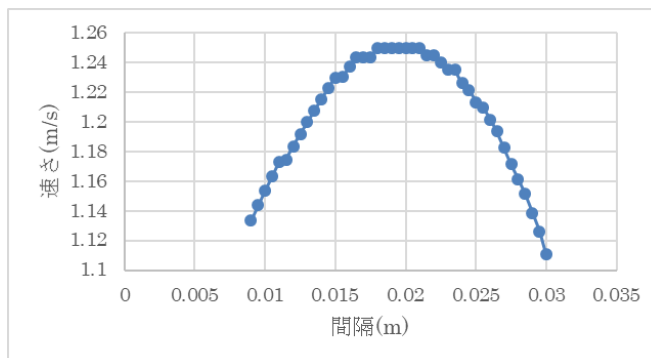


図8 シミュレーション結果1

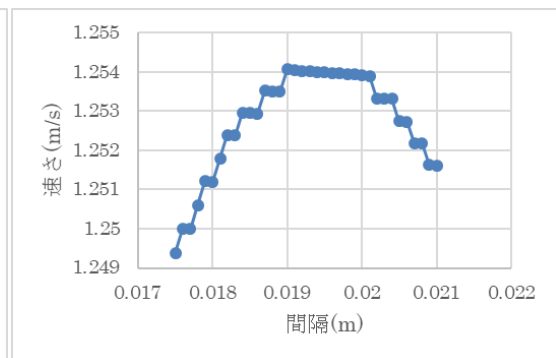


図9 シミュレーション結果2

```

Sub test10
  r = 0.023 '牌の高さの 1/2(m)
  n = 0.008 '厚さ(m)
  m = 0.01 '質量(kg)
  dt = 0.0001 'Δt
  g = 9.8 '重力加速度(m/s^2)
  rn = Sqr((4 * r ^ 2 + n ^ 2) / 4)
  θa = WorksheetFunction.Asin(n / Sqr(n ^ 2 + 4 * r ^ 2))
  ja = 2
  For a = 0.009 To 0.0305 Step 0.0005
    fc0 = Sqr(4 * r ^ 2 - a ^ 2) / (2 * r)
    θ0 = WorksheetFunction.Acos(fc0)
    θ1 = WorksheetFunction.Asin(((a + n) * fc0 - n) / (2 * r)) + θ0
    Cells(ja, 1) = a
    ω0 = 9.99
    Do
      ω0 = ω0 + 0.01
      ωω0 = ω0
      ωω1 = ωω0
      t = 0
      θk3 = θ1
      θk2 = θ0
      θk1 = 0
      AA = 0
      Do
        ωω1 = ωω1 + 0.01
        If GG2(ωω0, a, n, θ0, dt, r, θ1) < GG3(ωω1, a, n, θ0, dt, r, θ1) Then Exit Do
      Loop
      Do
        t = t + dt
        ωω0 = ωω0 + AA * dt
        θk1 = θk1 + dt * ωω0
        θk22 = θk2
        θk2 = θk2 + dt * GG1(ωω0, a, n, θk2, dt, r, θk3)
        θk3 = θk3 + dt * GG1(GG1(ωω0, a, n, θk22, dt, r, θk3), a, n, θk22, dt, r, θk3)
        F = (m * g * rn * Sin(θk3 - θa) * Cos(θk3 - θk2)) / (2 * r)
        K = Sqr((2 * r * Cos(θk3) / Cos(θk2) - n * Tan(θk2)) ^ 2 + n ^ 2)
        θβ = WorksheetFunction.Asin(n / K)
        J = (r * m * g * Cos(θk2 - θa) + K * F * Cos(θβ + θk3 - θk2)) / (2 * r)
        θγ = -WorksheetFunction.Atan2((2 * r * Cos(θk3)), (2 * r * Sin(θk3) - a - n))
        AA = (J * Cos(θk2 - θk1) * 2 * r * Cos(θk2) * Cos(θγ) / Cos(θk1 - θγ) - m * g * Sqr(r ^ 2 +
          n ^ 2 / 4) * Sin(θa - θk1)) / (m * 4 * (r ^ 2 + n ^ 2 / 4) / 3)
        If t > 0.7 Then Exit Do
        If θk1 > θ0 Then Exit Do
      Loop
      If ωω1 > ωω0 Then Exit Do
    Loop
    v = (a + n) / t
    Cells(ja, 2) = v
    ja = ja + 1
  Next a
End Sub

Function GG1(ωω1, a, n, θ0, dt, r, θ1)
  GG1 = (WorksheetFunction.Asin(((a + n) * Sin(2 * (θ0 + ωω1 * dt)) / 2 - n * Sin(θ0 + ωω1 * dt)) / (r *
    Sqr(4 * (Sin(θ0 + ωω1 * dt)) ^ 4 + (Sin(2 * (θ0 + ωω1 * dt))) ^ 2))) - θ1 + WorksheetFunction.
    Acos(Sin(2 * (θ0 + ωω1 * dt)) / Sqr(4 * (Sin(θ0 + ωω1 * dt)) ^ 4 + (Sin(2 * (θ0 + ωω1 * dt))) ^ 2))) / dt
End Function

Function GG2(ωω1, a, n, θ0, dt, r, θ1)
  GG2 = ωω1 + (GG1(ωω1, a, n, θ0, dt, r, θ1) + GG1(GG1(ωω1, a, n, θ0, dt, r, θ1), a, n, θ0, dt, r, θ1) *
    Cos(θ1)) * Cos(θ0)
End Function

Function GG3(ωω1, a, n, θ0, dt, r, θ1)
  GG3 = (ωω1 + GG1(ωω1, a, n, θ0, dt, r, θ1) * Cos(θ1)) * Cos(θ0)
End Function

```

図7 プログラム

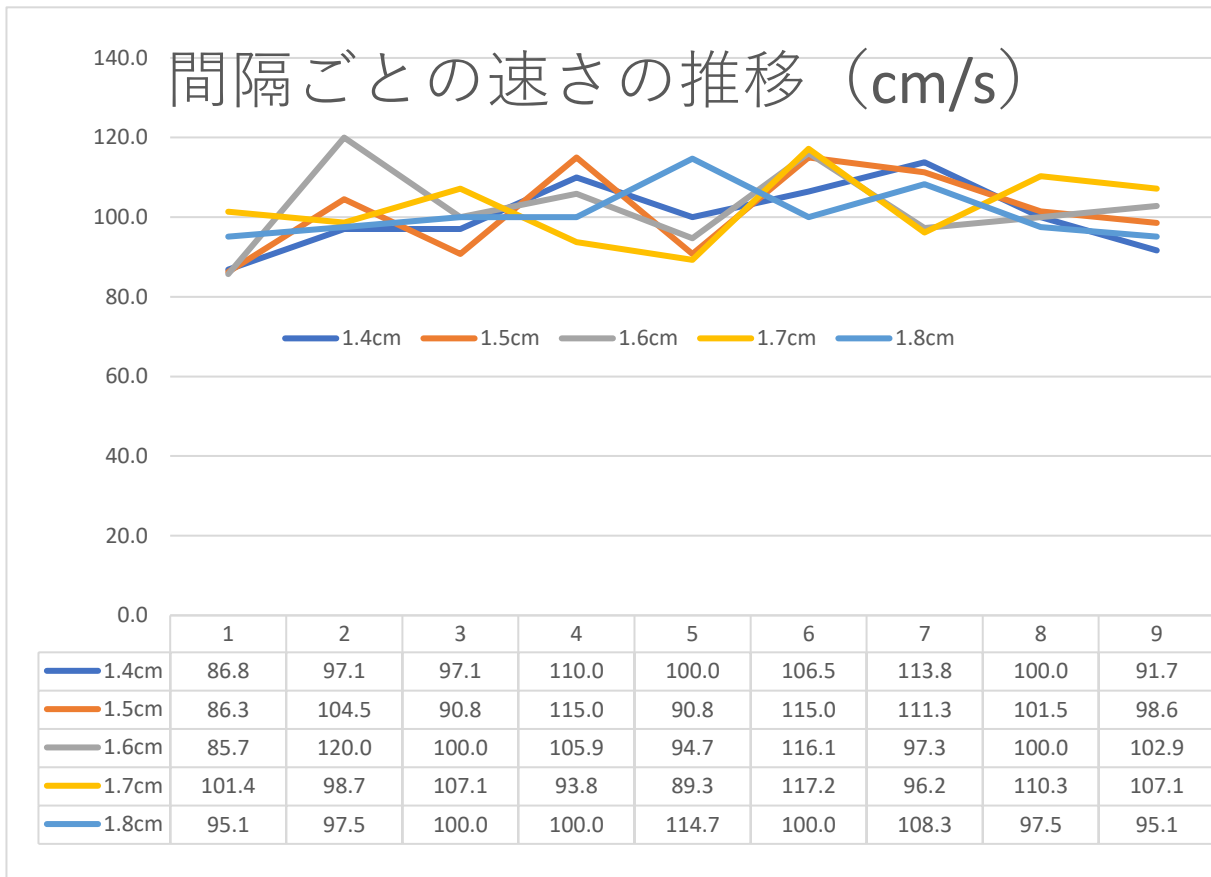


図2 区間ごとの倒れる速さ

・50個のドミノを5個ずつ10区間に分け、最初の区間を抜いた9区間におけるそれぞれの速さを求めた。

縦軸はcm/s、横軸は第(n+1区間)を示す。

縦軸は全体を通しての間隔ごとのドミノ倒しの平均伝播速度(cm/s)を示す。

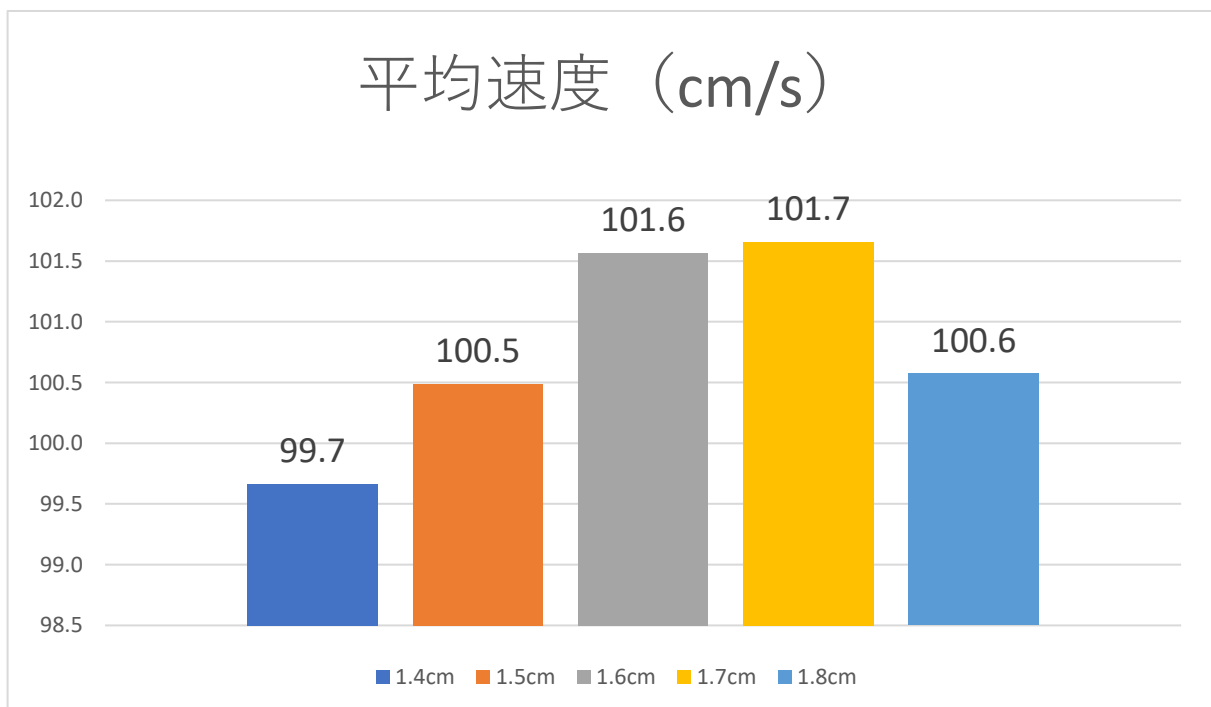


図3 平均速度

モルタルの強度に違いをもたらす原因

～隙間の多さによる実験～

岡田実大 田中義己 見島礼萌 牧野琳太郎

要旨

モルタルに曲げ応力に対する強度をもたらすものは何なのか疑問に思い、実験を行った。本研究ではモルタル内部に存在する、水とセメントが水和反応したときにできる余分な水による隙間の多さに着目した。そこで加える水の量を変えることで密度を変えたモルタルを作成し、モルタルの中央に上から負荷をかけていき、破壊される時にかけていた負荷の質量を測定することで曲げ応力に対する強度を測定する実験を行った。その結果、水の量を標準量よりも多くした場合も、少なくした場合も強度が小さくなったが、両方とも密度が小さくなっていた。このことから、モルタルの強度には密度が関係していると示唆された。

1. はじめに

近年、高度経済成長期に数多く建設された高速道路等の老朽化が問題視されている。それには様々な原因が考えられている。例えば、高度経済成長期中、良質な骨材が枯渇したためにアルカリ反応性の砕石や多くの塩分を含む海砂などが使われるようになったことがある。また海砂は塩分が問題なだけでなく、物理的性質そのものが劣り吸水性が大きいため、多くの水を加えなければならず、コンクリートの品質が低くなり、劣化が早まっていることがある¹⁾。そこからコンクリートの強度について興味を持ち、コンクリートに強度をもたらすものは何なのかを調べるために、加える水の量を変えることで密度を変えたモルタルを作成し、モルタルの中央に上から負荷をかけていき、破壊される時にかけていた負荷の質量を測定することで曲げ応力に対する強度を測定する実験を行った。

ここで、実験規模の問題からコンクリートと物質的に似ており、コンクリートよりも強度が小さいモルタルを使って実験を行った。コンクリートはセメントを結合するための骨材として砂、砂利(大きめの

砂)、を使用しており、モルタルは砂だけを使用しているために物質的に似ており、コンクリートの強度とモルタルの強度に相関性があると判断した。

また、加える水の量を多くすると強度が小さくなり、水の量を少なくすると強度が大きくなると仮説を立てた。モルタルは図1のように凝固するため、水の量を多くすると水和反応を起こさない余分な水分も多くなり、蒸発してその部分が隙間となり密度が小さくなる。また、水の量を少なくすると余分な水分も少なくなるため、隙間があまりできずに密度が大きくなる。そして密度が大きいと強度も大きくなり、密度が小さいと強度も小さくなると考えた。

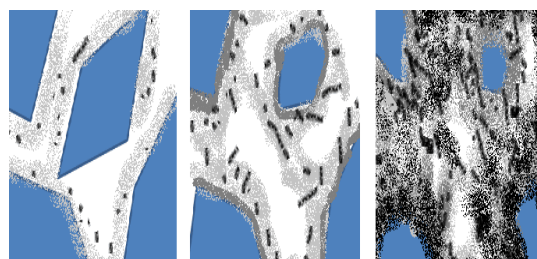


図1. モルタルの凝固の仕方²⁾

グレーのひし形がセメント粒子で、白い部分が水。セメントの周りにある黒い物質が水和生成物である

2. 材料・研究方法

本実験では、加える水の量を変えたモルタルを作成し、対照実験を行って強度を測定した。

(1)モルタルの作成

セメント、砂、水を表 1 のような三種類の割合でよく混合する。しっかり混ざったところでそれぞれを 5.0×17×2.0 cm の木の型枠 2 個ずつに流し入れる。この時、体積が等しくなるように上部をすりきって敷き詰める。そして二週間放置して乾燥させた。ここで使用したセメントはトーヨーマテラン株式会社製の生セメント(成分:ポルトランドセメント, 保水剤, 接着剤)である。また、砂は、大同塗料株式会社のプールコート砂で、水は水道水である。また、型枠について、厚さ 2.0 cm の木の板を図 3 のようにボンドで接着し、底に市販の牛乳パックを内側の面がモルタルに接するように貼って作成した。牛乳パックを使用したのは、牛乳パックの内側には牛乳の品質を保持する合成樹脂が塗られており、それによって乾燥し終わったモルタルを型枠から取り出すときに底に貼りつかず、取り出しやすいようにするためである³⁾。

(2)強度測定の方法

図 2 のように、モルタルを二つの机に渡し、丈夫で細いひもでバケツをモルタルの中央につるす。そのバケツに水や 1 kg の重りをモルタルが割れるまで加え続ける。これを三種類のモルタル二つずつで行った。ここで、割れた時に加えていた負荷が大きいほど強度が大きく、負荷が小さいほど強度が小さいとする。

表 1. 加える材料の割合

モルタルの種類	セメント : 砂 : 水
① (水量少)	1 : 3 : 0.5
② (標準)	1 : 3 : 1
③ (水量多)	1 : 3 : 1.5



図 2. 強度の測定の仕方

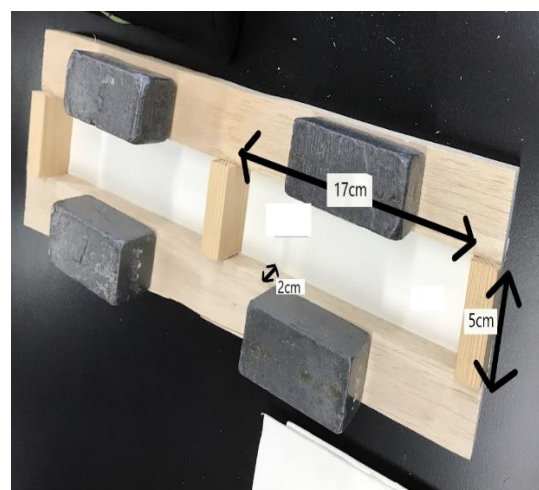


図 3. 型枠

3. 結果

図 4 の縦軸はモルタルが割れた時にかけていた負荷の質量を示し、横軸は表 1 のモルタルの種類①②③を、各条件の左側が 1 回目、右側が 2 回目を示す。実験の結果、図 4 より、②よりも水が少ない①では強度が 3 分の 1 以下に小さくなった。また、水の量を多くしたとき(③)も②より強度が平均して 5.6 kg 小さくなった。

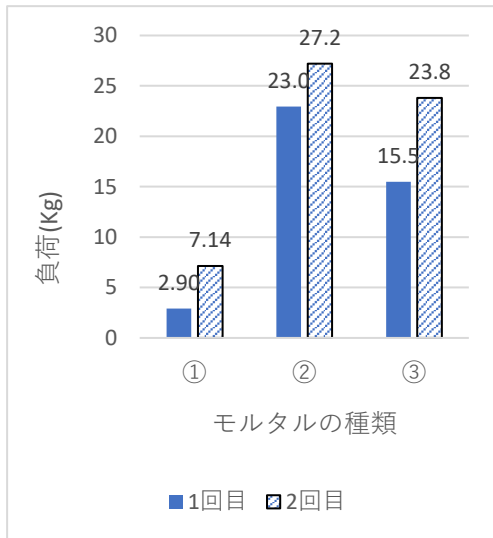


図 4. 実験結果

4. 考察

実験により水の量が少ないとき(①), また多いとき(②), 強度は小さくなったが, 強度を測定する前に測った体積と質量から, モルタルの密度を計算すると(図 5), 密度が小さいときに強度が小さくなり, 密度が大きいときに強度が大きくなったので仮説は正しかったと言える。

密度が小さいときに強度も小さくなったのは, その分結合する力が小さくなり大きな負荷に耐えられなかったからであり, 密度が大きいときに強度が大きくなったのは, 水とセメントによる水和反応の起こる部分が減り, その分水とセメントが結合する力が大きくなり大きな負荷に耐えられたと考えた。

また, 水の量を多くしたとき密度が小さくなったのは, 仮説の通りであると考えた。水の量を少なくしたとき密度が小さくなったのは, 水和反応を起こした水の量が少ないため, その分モルタルに含まれる生成物が少なくなり質量が大きくならなかったと考えた。

今回の実験では, モルタルの大きさは一種類だけだが, 形や大きさを変化させても材料比が同じであれば, モルタルと水との間で起こる水和反応が同じように起こり, モルタルに強度を与えられる。よって, 今回の実験のように①→③→②の比率の順番で強くなると考えられる。このことは,

実際の建築に使用されるモルタルにも, 同じようなことが考えられる。よって, 今回の実験を行ったきっかけに帰着することができたと考えられる。

実験のサンプル数や質については, 妥当性に言及するに十分なものとは言えないだろう。数については, 実際には, 建築基準法に記載されているコンクリートの強度を数値化するときは, 数十回の試験が行われているため, 今回の実験回数では妥当性が欠けている。また, 質については, 作成時期が異なるため, 気温や湿度などモルタルを作成することに影響を及ぼすであろう条件を完璧に揃えることはできなかったため, 実験で使用したモルタルに少なからず違いを生んでしまっている。

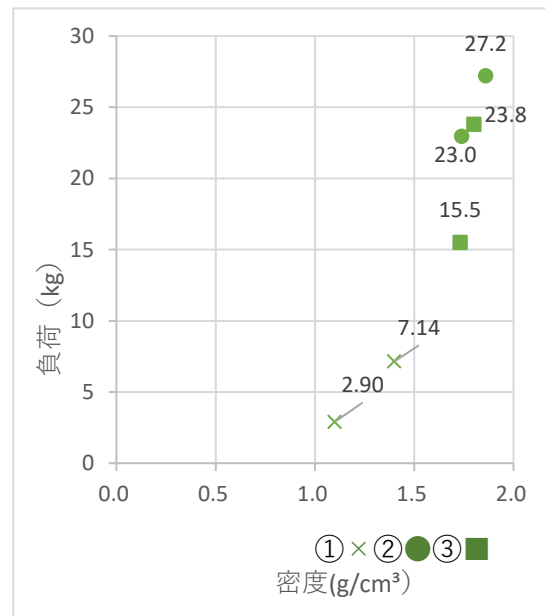


図 5. モルタルの密度と強度の関係

5. まとめと今後の課題

本研究により, 密度を大きくすると強度が大きくなり, 密度を小さくすると強度も小さくなることが分かった。しかし, 変化させた量が少なかったことによって結果に違いがみられにくかった。水の量をもっと細かく変え, モルタルの密度を変化させて, 結果がどのようになるかを調べる必要があると考えた。

また, 今回はモルタルの強度を確かめるために, 曲げ強度試験の実験方法に使用されるものに似

せた方法で実験を繰り返したのだが、コンクリートの強度を測定するときに JIS 規定では曲げ強度試験方法以外に、圧縮強度試験方法や割裂引張強度試験方法などの観点からの強度を判定している。それぞれの試験が異なる観点からコンクリートの強度を示すことで、そのコンクリートの強度の正確性が示される⁴⁾。しかし、今回の実験では一つの視点からでしか測定することができなかったため、実験をする機械があれば、上記の方法で実験をして結果の正確性を高めたい。

さらに、本研究においてモルタルはすべて私たちの手作りであるため、同じ条件であっても結果にばらつきがみられた。実験の回数を重ね、より正確な研究結果になるようにする必要があると考える。

6. 参考文献

- 1) 吹田市, コンクリートの高齢化, <https://www.ne.jp/asahi/suita/kyouiku-kankyousuita11.html>, 2022.2.3
- 2) コンクリート屋さんのブログ, 2019, コンクリートの水和反応と水和生成物の化学式, <https://practical-concrete.com/zairyou/suiwaseiseibutsu/> 2022. 2.3
- 3) ロイモール, セメントを使って DIY ! プランターを作ろう, <https://diyclip.roymall.jp/verandah-garage/1095768>, 2022.2. 10
- 4) コンクリート屋さんのブログ, 2019, 圧縮強度試験だけじゃない! コンクリートの強度試験方法の種類, <https://practical-concrete.com/shiken/kyoudo/#toc9>, 2022.2. 10

2 種類の塗料を用いた開放系での Viscous Fingering の研究

曾根悠汰 浜辺陽翔 松尾明日貴 山口惇

要旨

我々は、二種類の絵の具が作る樹状構造についての研究を行った。それぞれの絵の具について、最も複雑な構造をなす濃度が存在すると考え、特定の組の絵の具について濃度を調節して構造を作成し、最も複雑な構造が現出する濃度を測定した。さらにこの構造を一般的に表すためには、他の絵の具との共通の指標である粘度の測定を要すると考えられる。

2. はじめに

一般に、高粘性流体に低粘性流体を注入すると、2つの液体の界面が樹枝状構造を形成する場合があることが知られている。この現象は Viscous Fingering とよばれ、微小間隙の平行平板間(ヘレ=ショウセル)で実験が行われてきた。

我々は2色のポスターカラーを用いた開放系における Viscous Fingering の現出に成功した。これにより生成される樹状構造は、従来の実験方法によって得られた構造と比較してより複雑であった。以下に本研究の樹状構造の特徴を挙げる。

- 末端の枝の幅が従来のものより小さい
- 枝分かれの際、従来のものは分岐後の枝のうち1方がある程度の角をなしもう一方がほぼ曲がらないのに対し、分岐後の枝が2本とも曲がるY字型の分岐を行う。

本研究ではポスターカラーで Viscous Fingering を現出するための条件の解明を目的とする。

2. 材料・研究方法

レモンイエローとコバルトブルー¹⁾の2色の塗料に水を加え、様々な濃度の溶液(以下溶液 Y, 溶液 B と呼ぶ)を作成し、各組み合わせでの樹状構造の形状を分析する実験を行った。実験装置には、1枚の正方形ガラス板の上に4枚のスライドガラス(26 mm×76 mm)を組み合わせ図1の様に

スライドガラス(1.5 mm)の凹地を作ったものを用いる。溶液 Y および溶液 B の上面はガラス板などで塞いでおらず、開放系となっている。

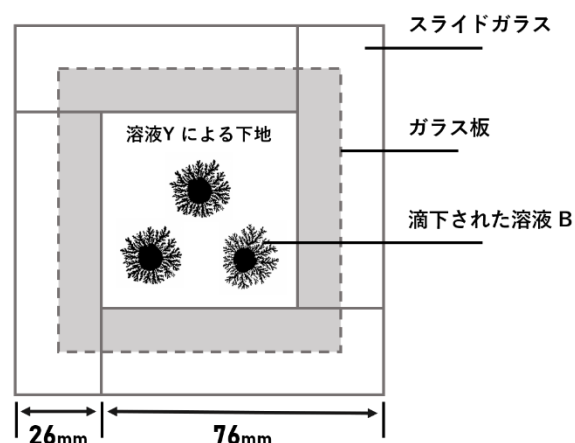


図1. 実験装置

スライドガラスに囲まれた正方形の凹地内に溶液 Y を均一に流し込み、これを下地とした。次に、マイクロピペットを用いて測り取った、30 μL の溶液 B を下地に滴下して生じる樹状構造の分析を行った。滴下は液面から約 10 mm の高さから1つの実験装置につき3回行った。なお、これらの実験は、水に浸したティッシュで加湿することで、湿度を約 100%に保った円柱形の水槽内で行った。

5分後に溶液 B が広がりがきつたあとの実験装置を上から撮影したものを実験結果とした。

注1) ターナー色彩株式会社のポスターカラー250 ml を用いた。

3. 結果

我々は6種類の濃度の溶液 Y(質量パーセント濃度 64%, 76%, 82%, 88%, 94%, 100%)と溶液 B(10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%)を用いた 36 種類の濃度の組み合わせについて結果を得た. 予備実験では溶液 Y が 88%の場合に枝の幅が細く十分な分岐回数 of 樹状構造が見られ, 原液(100%)での実験を含めるため 88%を基準に 12%刻みで濃度を変えた. その後より詳細な形成条件を求めため 82%, 94%の溶液 Y でも実験を行った. 以下に撮影した樹状構造(図 2, 5 ページに添付)およびそれを二値化した画像(図 3)を示す.

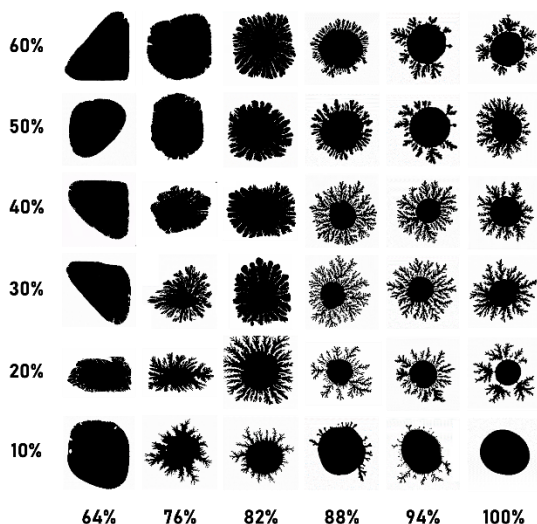


図 3. 溶液の濃度と生成された樹状構造

横軸は溶液 Y, 縦軸は溶液 B の濃度を表す. 鮮明に表示するため, 各画像の縮尺を変えているが, 画像解析は解像度を縦横 120dpi に統一して行った.

二値化に伴い, 溶液 B によって形成された樹状構造は黒色に着色された. そして, 画像解析ソフト(ImageJ)を用いて二値画像に含まれる黒色のピクセルの数を計測した. これを面積の指標 S とした. 次に, 二値画像から輪郭のみを抽出し, 同様に黒色のピクセルの数を測定し, これを周長 L の指標とした. これらの 2 つの指標から, 以下の式のように複雑さの指標 C を設定した.

$$C = \frac{L^2}{S}$$

周長 L を二乗しているのは, 形状が同じで大きさの異なる 2 つの図形でも指標を一致させるためである.

上記の測定方法をもとに, 計 36 回の実験の結果を下の図 4 のようにまとめた. 図 4 は, 横軸にレモンイエローの原液の濃度, 縦軸にコバルトブルーの原液の濃度を取り, 複雑さの指標 C を円の直径で表現したものである.

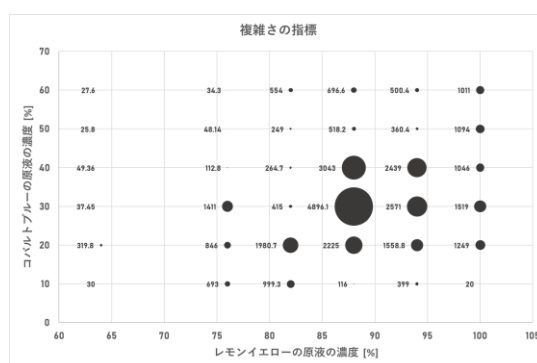


図 4. 溶液の濃度と複雑さの指標

また, 本研究での樹状構造を特徴づけるような, 先述の分岐方式や末端の枝の幅について分析を行い, 図 5, 6, 7 にまとめ, 条件を満たす濃度の組を網掛けで示した.

枝の幅[mm]	溶液Bの濃度					
	64	76	82	88	94	100
60	-	-	1.9	0.8	0.8	0.8
50	-	-	1.7	0.8	0.7	0.4
40	-	-	2.1	0.5	0.4	0.5
30	-	1.9	2.1	0.5	0.5	0.5
20	0.5	1.2	1.1	0.4	0.4	0.4
10	-	1.2	0.4	0.3	0.4	-

図 5. 溶液の濃度と枝の幅

数値は末端及び基部の枝の幅の概算値である. 0.5mm 以下を条件とした.

45° 以上の 分岐の有無		溶液Bの濃度					
		64	76	82	88	94	100
溶液Yの濃度	60	-	-	-	-	-	+
	50	-	-	-	-	+	+
	40	-	-	-	+	+	+
	30	-	-	-	+	+	+
	20	-	-	+	+	+	+
	10	-	+	+	+	+	-

図 6. 溶液の濃度と 45° 以上の分岐の有無

分岐角が 45° 以上の分岐の有無を+, -で表した.

分岐頻度		溶液Bの濃度					
		64	76	82	88	94	100
溶液Yの濃度	60	-	-	+	+	-	-
	50	-	-	+	+	+	+
	40	-	-	+	+	+	+
	30	-	+	+	+	+	+
	20	+	+	+	+	+	+
	10	-	+	+	-	-	-

図 7. 溶液の濃度と分岐の頻度

滴下した溶液(円形)から均等かつ密に枝が成長した場合を+, そうでない場合を-で表した.

以上の 3 条件すべてを満たす組み合わせを、
図 8 に枠線で囲って示した.

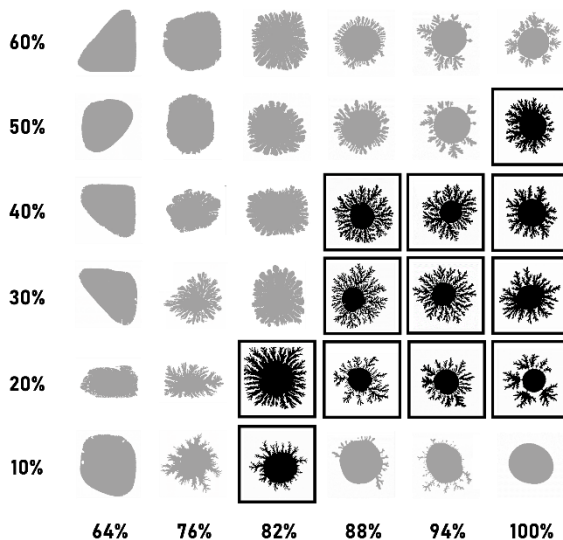


図 8. 特徴的な構造を示す濃度の組

横軸は溶液 Y, 縦軸は溶液 B の濃度を表す.

また, 図 5 で示した濃度の組における複雑さの
指標 C の値を図 9 に網掛けで示した.

複雑さ		溶液Bの濃度					
		64	76	82	88	94	100
溶液Yの濃度	60	28	34	554	697	500	648
	50	26	48	249	518	360	1094
	40	49	113	265	3043	2439	1046
	30	37	1411	415	4896	2571	1519
	20	320	846	1981	2225	1559	1249
	10	30	693	999	116	399	20

図 9. 特徴的な構造を示す濃度の組

4. 考察

以下の 4 つの項目にわけて考察を行う.

4-1. 最適条件の考察

図 3 より, 溶液 Y および溶液 B の濃度がそれぞれ特定の値に近づけば近づくほど構造がより複雑になることが予測される. すなわち, 本実験の樹状構造は, 絵の具の濃度について「最適条件」を持つといえる. そこで図 3 より考えられる, 今回の実験で指標 C が最も大きくなる絵の具の濃度を最適条件と定義した. 今回は最適条件を正確に導き出せなかったものの, 理想的な濃度は

溶液 Y: 90% 溶液 B: 35%

の周辺にあるといえるだろう.

4-2. 状構造の発生条件の考察

図 8 と図 9 を比較すると, 本研究での特徴的な樹状構造が現れるとき, 複雑さの指標 C は約 1000 以上となっていることがわかる. 逆に指標 C が 1000 以上になる濃度の組のうちほとんどは上記の樹状構造をとった. 加えて, ちょうど図 9 の網掛けの部分の境界で, 指標 C が高い領域と低い領域の 2 グループに大別されるといえる.

以上より, 2 色のポスターカラーを用いた開放系における Viscous Fingering に特徴的な樹状構造は, 指標 C が 1000 以上の値をとり, その生成条件は図 9 の網掛けの部分と概ね一致すると考えられる.

4-3. 複雑さの指標の妥当性

以下に数学的な指標の妥当性について議論を

行う。最もこの指標が小さくなる図形は円であり、その値は以下のように求められる。

$$C = \frac{(2\pi r)^2}{\pi r^2} = 4\pi \quad r: \text{円の半径}$$

この円に、その幅が長さに対して十分に小さい突起が複数本生えたとすると、その突起の長さの合計を p として複雑さの指標 C は、

$$C \equiv \frac{(2\pi r + 2p)^2}{\pi r^2}$$

となり、細長い突起の数の増加に伴い複雑さの指標 C も増加することがわかる。

この指標は先行研究に頻繁にみられるものではないが、4-2 で述べたように枝の幅・分岐方式などの観点から予測される複雑さと、先述の複雑さの指標 C は大方合致しているといえる。

4-4. 濃度・粘度と樹状構造の関係

Viscous Fingering での分岐構造に影響を持つ因子として重要視されてきた粘度と、本実験で調査した濃度の関係を考える。まず、溶液濃度の増加に従い、溶液の性質は絵の具に近づく。絵の具は溶媒の水よりも粘度が高いため、濃度と粘度の間には正の相関があるといえる。ただし、低・高濃度領域を除き、両者の関係が線形関数で記述できるとは言えないだろう。そのため、図 4 の軸に粘度をとった場合、樹状構造が形成される領域の境界の形状は異なったものになるはずだ。したがって、図 4 のみから「溶液 Y・B の粘度比が一定範囲内のとき樹状構造が形成される」などの本研究における仮説を検証することはできない。

次に、一般的な Viscous Fingering と本研究でのその違いを考察する。Hele-Shaw cell を用いた実験では、低粘性流体を一定圧力で注入しているが、本研究では滴下するのみである。そのため、低粘性流体である溶液 Y の展開を促進・抑制する力として 2 溶液の表面張力と界面張力が重要視されるだろう。

上の仮説に対する予備実験として、スカーレットの水溶液(溶液 S)の粘度を 30%の溶液 B の粘度に近づけて、88%の溶液 Y に滴下を行った。その結果、図 10 のように形状は大きく異なっていた。そのため、表面張力や滴下する溶液の比重などの粘度以外の因子が形状に大きく関係しているといえるだろう。



溶液 B

濃度 …… 30%

指標 c …… 4896



溶液 S

濃度 …… 35%

指標 c …… 68

図 10. 粘度の近い溶液 B・S を 88%の溶液 Y に滴下した様子

5. まとめと今後の課題

複雑さの指標 C が最大となる「濃度の最適条件」は、溶液 Y: 約 90%, 溶液 B: 約 35%といえる。また、1 で述べた本研究での樹状構造の特徴が現れるとき、複雑さの指標は 1000 以上となる。その生成の際の濃度条件は溶液 Y: 85~100%, 溶液 B: 20%~40%である。

ここまで流体の濃度から「最適条件」を求めてきたが、条件を他の流体に応用して違う色の構造をつくることや、最終目的である樹状構造の数式化まで視野に入れると、ポスターカラーの特定の 2 色でしか活かせない濃度の条件より、全ての流体に適応できる粘度の条件の方が適していると考えられる。現在粘度の測定方法は模索中であるが、流体ごとの粘度の数値が比較できれば、開放形での Viscous Fingering の研究は大きく進むと考えられる。

6. 謝辞

今回研究をするにあたって、京都工芸繊維大学の西川幸宏教授をはじめたくさんの方々にご協力いただきました。

ここに公に感謝申し上げます、ありがとうございました。

7. 添付資料

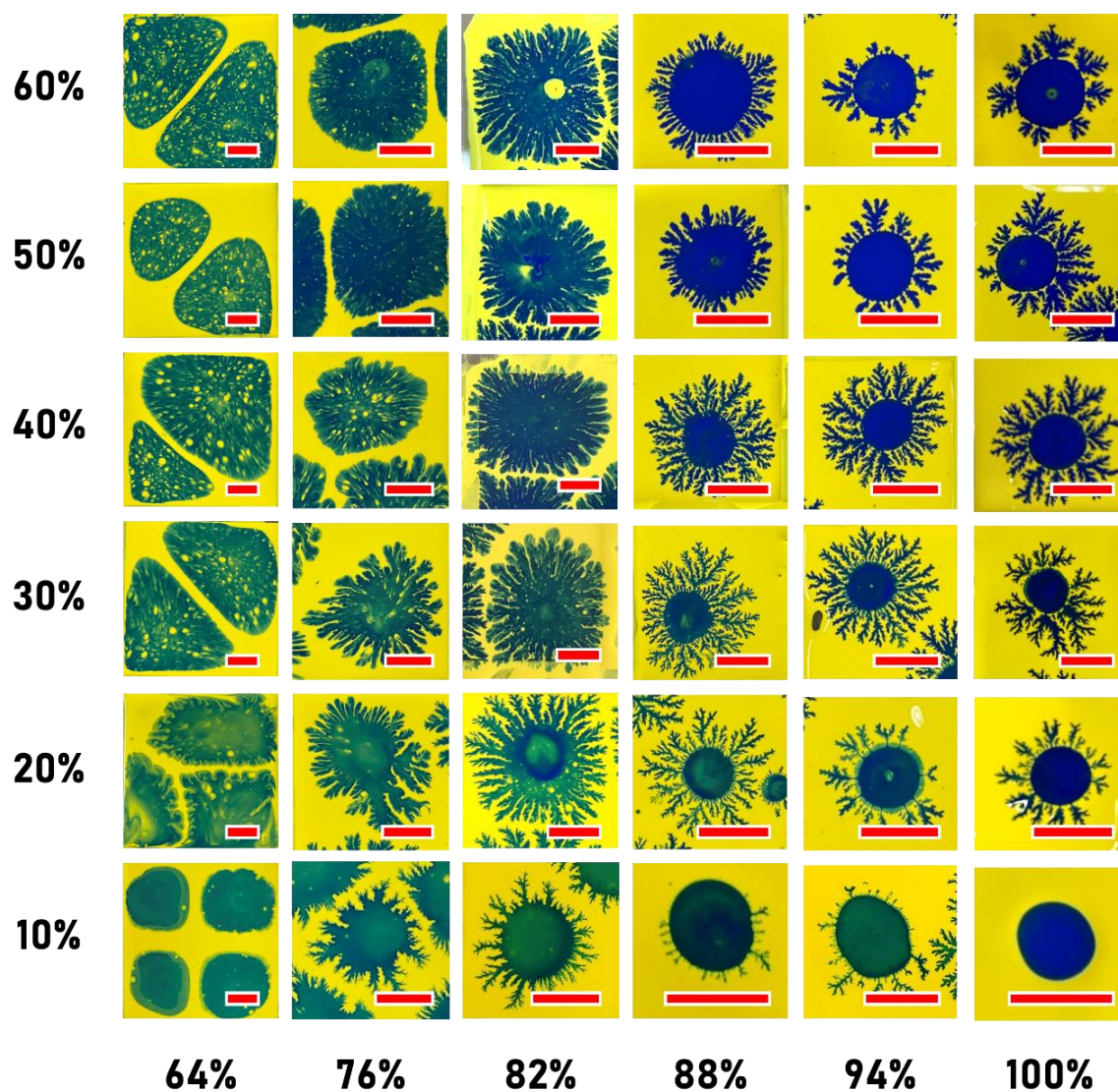


図 2. 実験結果

横軸は溶液 Y，縦軸は溶液 B の濃度を表す。赤線は 1 cm を示す。分岐構造をより鮮明に示すため、できる限り拡大を行っている。

けが人を混在させた拡張フロアフィールドモデルの有用性の検証

村松一仁 神戸春哉

要旨

群衆の避難運動の研究に用いられるフロアフィールドモデルについて、避難者の中に通常より移動確率の低い「けが人」を混在させ、モデルのシミュレーションと分析を行った。実際の避難現場で見られるけが人の存在が避難を遅延させる現象が再現された。また、けが人を出口付近に配置することで避難完了にかかる時間が短縮されることが明らかになった。

1. はじめに

観覧施設など人が密集する場所での災害時には、避難者が通路に滞留し、狭い出入口などのボトルネックに殺到することで、避難が遅れ、最悪の場合群衆事故が発生することもある。そのような事態を避けるためには、避難時の集団運動の設計に理論的考察を与え、現状行われている避難誘導の改善点を明らかにし、迅速かつ安全な避難を可能にすることが不可欠である。こうした避難という複雑な非線形問題を単純化したモデルとして柳澤 大地, 西成 活裕ら¹⁾により、フロアフィールドモデル(図 1)が、群衆運動の研究に用いられている。

人(1)	出口(2)	0
0	0	人(1)
0	人(1)	0

図 1. フロアフィールドモデル

従来のフロアフィールドモデルでは、避難者の動作のアルゴリズムや移動速度は一律に定義されていた。本研究では、実際の避難現場では様々な避難者が混在していることを考慮し、フロアフィールドモデルにおける避難者の状態を「けが人」と「通常の避難者」の二種類に分け、そのモデルの有用性を確認した。また、けが人の初期配置

を変えてシミュレーションを行い、全体の避難時間を比較した。

2. 研究方法

2-1. 静的フロアフィールド

フロアフィールドモデルでは各セルに避難者、障害物といった状態量とは別に、出口からのユークリッド距離を表すフロアフィールド(以下 FF とする)という状態量を持たせる。避難者は自分のいるセルの上下左右のセルの FF を比較して移動する方向を決定する。避難者が出口に向かう場合、基本的には最短距離を通ると考えられる。これを反映し、避難者が移動する際に FF が減少するセルに移動しやすくなるように定めたルールが静的 FF(図 2)である。

→	出口	←
1	0	1
↑	↑	←
$\sqrt{2}$	1	$\sqrt{2}$
↑	↑	↑
$\sqrt{5}$	2	$\sqrt{5}$

図 2. 人(矢印)と静的 FF(数字)

セル O にいる避難者が移動を試み、隣接するセル X を移動先として選択する確率 $p(O \rightarrow X)$ に

ついて、柳澤 大地, 西成 活裕¹⁾に則り

$$p(O \rightarrow X) = \exp\{k(S_O - S_X)\}$$

とする。ただし、

$k \in [0, \infty)$: 静的 FF の調節パラメータ

$S_Z \in [0, \infty)$: セル Z の出口からの距離
であるとする。

避難者は選択したセルに他の避難者がいる場合、進むことができない。また、複数の避難者が 1 つのセルに進もうとした場合、ランダムに選択された 1 人が進み、その他の避難者はその場に留まる。ただし、セルが出口の場合、全員が避難を完了する。

2-2. 実験 1

これまでの静的 FF においては、全ての避難者は、毎ステップ前後左右いずれかのセルへの移動を試みる。今回は、初期配置時に一定確率で避難者を、毎ステップ二分の一の確率で移動を試みない「けが人」に変更して配置する。

避難者の初期配置をランダムに設定し、全員の避難完了までステップを進める実験を 12000 回行った。設定した条件は表 1 に記す。セルについて、(行, 列)の方式で左上のセルを(1, 1)とする。

表 1. 条件設定

部屋のセル数	49×49
出口のセル	(1, 25)
初期人口密度 p_0	144/2401
けが人となる確率	5.00%
けが人の移動確率	50.0%
静的 FF の調節パラメータ k_s	3.0

2-2. 実験 2

実験 1 の設定からけが人の初期人数を固定するよう変更し、それぞれ 10000 回実験を行い、避難完了ステップ数を記録した。

2-3. 実験 3

けが人の初期配置が避難完了ステップ数に与える影響を検証する実験を行った。実験 2 の設定でけが人の初期人数を 7 人の場合について 30000 回試行し、けが人 7 人の初期配置の際の出口からのユークリッド距離の合計値を算出し、記録した。

3. 結果

図 3~6 に、実験 1 における 1 つのシミュレーションの結果を示した。

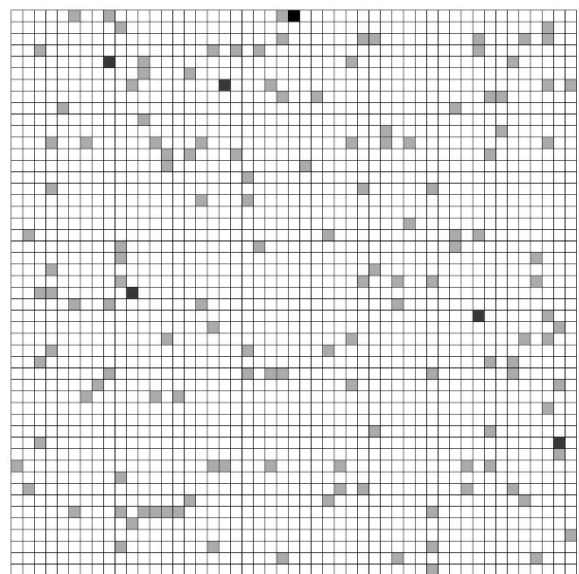


図 3. 1 ステップ目

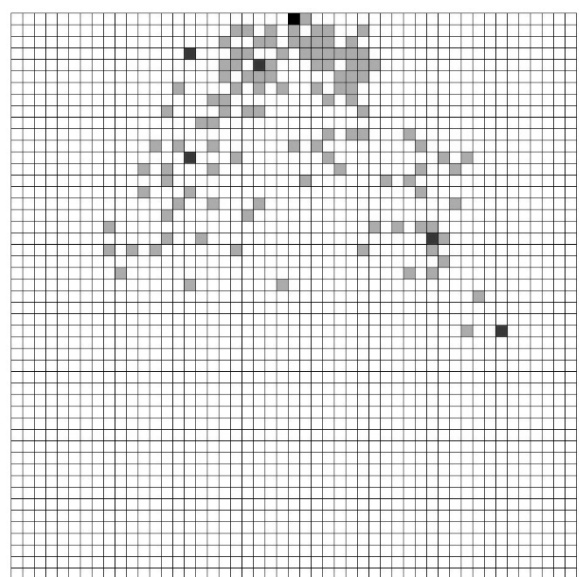


図 4. 31 ステップ目

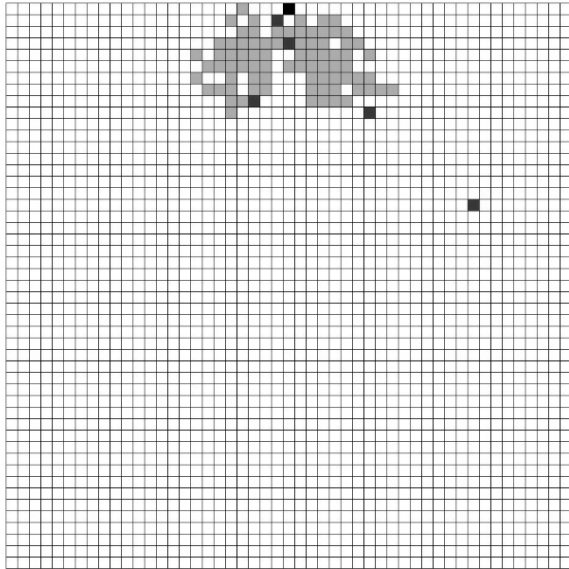


図 5. 61 ステップ目

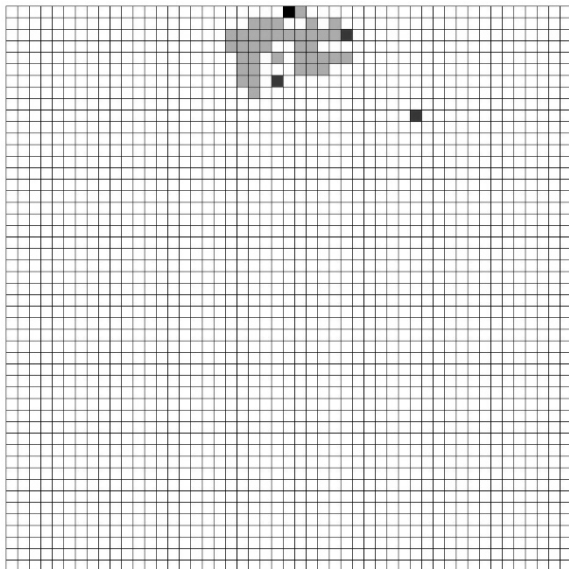


図 6. 101 ステップ目

(1, 25)は出口, それ以外の黒色のセルはけが人
それ以外の有色のセルは通常の避難者である

この例において, 初期配置ではフィールド全体に分散していた避難者は, 実験の開始後すぐに出口へと向かい, 31 ステップ目には出口付近に渋滞が発生していることが確認できる. 渋滞は徐々に拡大していき, 61 ステップ目にはわずかなけが人を除くほぼ全ての避難者が出口周辺に滞留している. 2 人のけが人が渋滞の最後尾に位置しており, 1 人のけが人が離れた位置に取り残さ

れていることが観察できる. その後は出口からの流出によって渋滞が縮小し, 144 ステップ目で全ての避難が完了した. 実験 1 の条件下においては平均避難完了ステップ数が 142.559 ステップ, 平均けが人数が 7.20 人となった. (図 7)

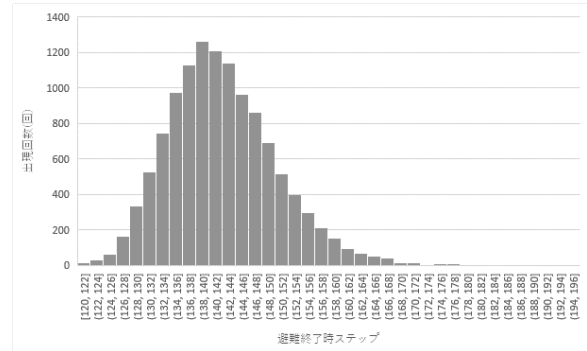


図 7. 避難完了ステップ数の分布(実験 1)

実験 2 について, けが人が 0~20 人である場合の結果を, 表 2 および図 8 に示す. ここからけが人の増加に伴ってステップ数が増加しることが読み取れる.

表 2. けが人数別避難完了ステップ数
(実験 2)

けが人数	避難完了ステップ数
0	131.7338
1	133.5918
5	139.4086
10	145.0835
15	149.8846
20	154.0130
実験 1	142.5590

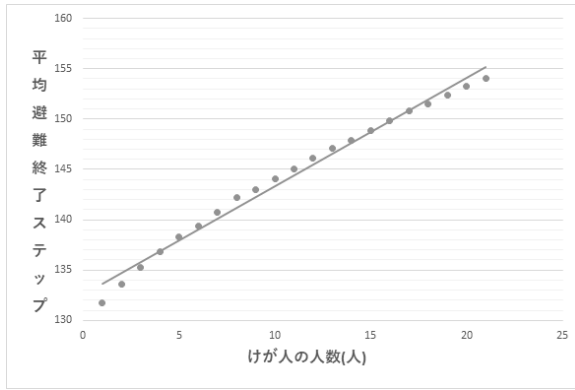


図 8. けが人の人数と平均避難完了ステップ数の関係(実験 3)

特にけが人が 0 人である場合について、実験 1 と比較を行うと、平均避難完了ステップ数に約 10 ステップの差があることがわかる。

また、けが人が 0 人である場合と 20 人である場合について比較を行うと、けが人が 20 人である場合約 25 ステップの差があることがわかる。

最後に、実験 3 の結果から、避難完了ステップ数別に全けが人の出口からのユークリッド距離の合計を取った(図 9)。図の示す通り、おおよそ避難完了ステップ数と直線的な相関があるとわかった。

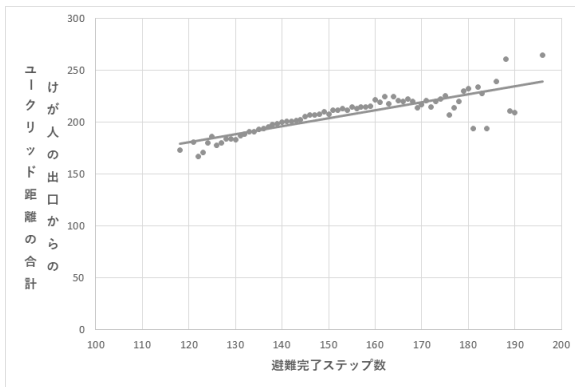


図 9. けが人の出口からのユークリッド距離の合計値と避難完了ステップ数の関係(実験 2)

4. 考察

シミュレーションの推遷(図 3~6)において、61 ステップ目に見られるけが人を始点とした渋滞の発生や、101 ステップ目に見られるけが人が取り残される現象について、これは普遍的に発生しうると考えられ、これがステップ数の増加をもたらす

要因にあたると思われる。また、この現象は 1 ステップ中に同時多発的に存在し、十分な回数の試行によりけが人の人数と避難完了ステップ数に直線的な関係が見られた。

包括して見ると、このモデルにおけるけが人の行動は、本研究の条件下ではおおよそ現実において想定される事態を反映したものになったと考えられる。また、図 9 よりけが人を出口付近に配置することで避難完了にかかる時間が短くなることも示唆しているため、現実においても同様の処置をとることで避難行動にかかる時間が短縮されると考えられる。

5. まとめと今後の課題

シミュレーションによって、けが人を導入したフロアフィールドモデルの有用性が示された。しかし、実際の避難現場においてけが人をその他の避難者が放置するかは考慮の余地がある。車いす専用の席が出口付近に配置される場合や、災害が発生した建物を管理する人間による施策などがある場合を勘案すれば、けが人の動きについて優先的に利用される順路や介助にあたる人の存在などを伴った動きが予想される。今後は、本研究において考慮しなかったこれらの条件を取り入れることが課題である。

6. 参考文献

- 1) 柳澤 大地, 西成 活裕, 群集の集団運動と拡張フロアフィールドモデル, 応用力学研究所研究集会報告 No.17ME-S2, 2005. 11. 9

自然数長の長方形を小長方形に分割する場合の数

黒川啓太

要旨

本研究では自然数長の長方形を k 個の同じく自然数長の小長方形に分割する方法の場合の数について縦幅 m を固定して横幅 n , 分割個数 k についての漸化式を作成し, n のorderを求めた. ただしここでは, 回転させて同じになるようなものも異なるものとして考えた.

1. はじめに

長方形分割というテーマは数学の研究において非常に重要であり過去にも様々な研究が行われていて, 特に正方形を異なる小正方形に分割するルジンの問題が有名である. 本研究ではある長方形をそれよりも小さい長方形に分割する方法の数に着目した. 同様のテーマを扱った研究では分割する個数を考慮しない場合の数を扱っており図4(付録)の結果が報告されている.¹⁾そこで, 本研究ではこれに加え, 新たに分割する個数を加えて考察する. 以下では求める場合の数を分割数と呼ぶ. また本研究では正方形も長方形の一種とみなす.

2. $m = 2$ の場合

2-1. 定義

縦の長さが m , 横の長さが n の長方形を k 個に分割するときの分割数を, m を定数とみて $f(n, k)$ とする.

ここで, n 行目が分割されていない分割数を $\alpha(n, k)$, 分割されている分割数を $\beta(n, k)$ と定義する.(図2) また以下では, ある長方形の列について分割されていないものを α タイプ, 分割されているものを β タイプと呼ぶことにする.

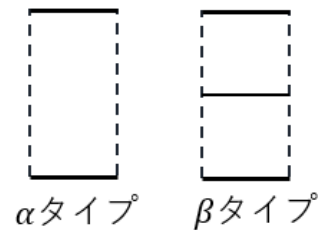


図1. α タイプ β タイプのグループ分け

2-2. 漸化式の立式

2-2-1. $\alpha(n, k)$ の漸化式

$\alpha(n, k)$ 個の長方形分割は図2のように3種類に分割できる. よって $\alpha(n, k)$ についての漸化式は

$$\alpha(n, k) = \alpha(n-1, k) + \alpha(n-1, k-1) + \beta(n-1, k-1) \text{ となる.}$$

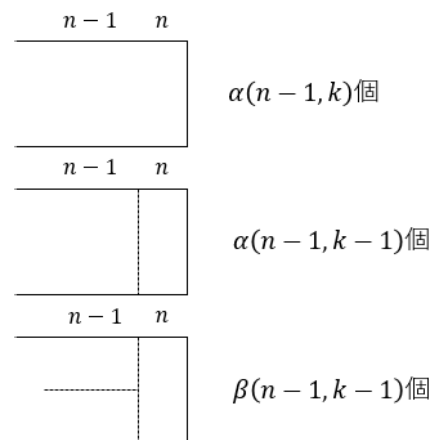


図2. n 列目が α タイプである分割の分類

2-2-2. $\beta(n, k)$ について

$\beta(n, k)$ 個の長方形分割は図4のように分類できる.よって $\beta(n, k)$ についての漸化式は

$$\beta(n, k) = \alpha(n-1, k-2) + \beta(n-1, k) + 2\beta(n-1, k-1) + \beta(n-1, k-2) \text{ となる.}$$

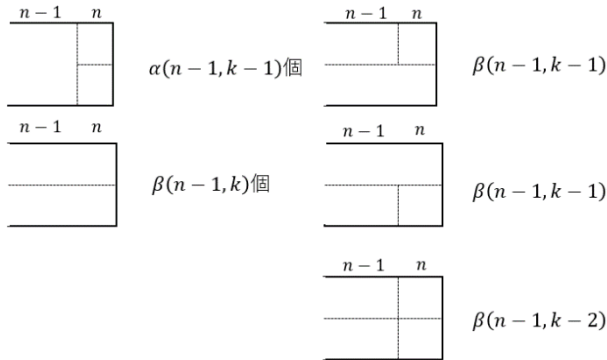


図3. n列目が β タイプである分割の分類

2-2-3. $f(n, k)$ の漸化式

2-2-1, 2-2-2 より漸化式

$f(n, k) = \alpha(n, k) + \beta(n, k)$ が得られる.

2-3. 計算結果

2-2 で立式した漸化式を用いて分割数の具体的な数値を計算した ($1 \leq n \leq 5$ については表1, より大きい n については付録の表3に記載). また k が小さいとき, 分割数の n についての一般項を計算した(表2).

表1. 漸化式の計算結果($1 \leq n \leq 5$)

k \ n	1	2	3	4	5
1	1	1	1	1	1
2	1	2	3	4	5
3		4	9	15	22
4		1	13	37	74
5			7	47	147
6			1	33	183
7				10	142
8				1	62
9					13
10					1

表2. $\alpha(n, k), \beta(n, k)$ の一般項

k	$\alpha(n, k)$	$\beta(n, k)$
1	1	0
2	$n-1$	1
3	$n(n-1)/2$	$3(n-1)$
4	$(n-1)(n-2)(n+9)/6$	$(n-1)(7n-12)/2$

2-4. 考察

表2から $\alpha(n, k), \beta(n, k)$ ともに k が1大きくなるごとに, 次数が1大きくなっていることが見て取れる. また k が等しいとき $\alpha(n, k)$ の次数が $\beta(n, k)$ より1大きいという予想もたつ. これらのことを示す.

まず $k \leq 2n$ より $n \geq \lceil \frac{k+1}{2} \rceil$. よって2-2で立式した

漸化式から次の式を得る.

$$\alpha(n, k) = \sum_{l=\lceil \frac{k}{2} \rceil}^n \{ \alpha(l-1, k-1) + \beta(l-1, k-1) \}$$

$$\beta(n, k) = \sum_{l=\lceil \frac{k}{2} \rceil}^n \{ 2\beta(l-1, k-1) + \beta(l-1, k-2) + \alpha(l-1, k-2) \}$$

一般に自然数 p, t について, $n-p = O(n)$ であれば, $\sum_{l=p}^n O(l^t) = O(n^{t+1})$ が成り立ち,

$\alpha(n, 2) = O(n), \beta(n, 2) = O(1)$ であるから $\alpha(n, k) = O(n^{k-1}), \beta(n, k) = O(n^{k-2})$ であり

$$f(n, k) = \alpha(n, k) + \beta(n, k) = O(n^{k-1})$$

以上より分割数を n の多項式と見たときその最高次数は $k-1$ であることが分かった. また $\alpha(n, k)$ は $\beta(n, k)$ に比べて n の次数が大きく, $f(n, k)$ の主要項は $\alpha(n, k)$ であることが分かった.

3. 一般の m について

次に, 縦幅 m について一般の場合を考察する. n 列目を分割する方法は 2^{m-1} 通りある. それぞれの

場合についての分割数を

$\alpha_1(n, k), \alpha_2(n, k), \alpha_3(n, k) \dots \alpha_{2^{m-1}}(n, k)$ とする.

ここで $\alpha_1(n, k)$ は、 n 列目を分割しないような分割数とする.

ある $m \times n$ の長方形の分割方法について $n - 1$ 列目までと k が変わらないものは、 $n - 1$ 列目の分割のパターンが等しい時に限るので、

$$\begin{aligned} \alpha_i(n, k) &= \alpha_i(n - 1, k) \\ &+ \sum_{j=1}^{2^{m-1}} c_{1,j} \alpha_j(n - 1, k - 1) \\ &+ \sum_{j=1}^{2^{m-1}} c_{2,j} \alpha_j(n - 1, k - 2) \\ &+ \dots \\ &= \alpha_i(n - 1, k) + \sum_{g \geq 1} \sum_{j=1}^{2^{m-1}} c_{g,j} \alpha_j(n - 1, k - g) \end{aligned}$$

とかける.これを $\alpha_i(n - 1, k) + P_i(n - 1, k)$ とおく.

このとき、 $p = \lfloor \frac{k}{m} \rfloor$ として

$$\alpha_i(n, k) = \sum_{l=p}^{n-1} P_i(l, k)$$

が成り立つ.

$\alpha_i(n, k)$ について、

$$\textcircled{1} \quad \alpha_i(n, 1) \leq 1 = O(1)$$

$$\textcircled{2} \quad \alpha_i(n, k) \leq O(n^{k-1}) \text{と仮定すると}$$

$$\begin{aligned} \alpha_i(n, k + 1) &= \sum_{l=p}^{n-1} P_i(l, k + 1) \\ &= \sum_{l=p}^{n-1} \sum_{g \geq 1} \sum_{j=1}^{2^{m-1}} c_{g,j} \alpha_j(l - 1, k - g + 1) \\ &\leq \sum_{l=p}^{n-1} \sum_{g \geq 1} \sum_{j=1}^{2^{m-1}} O(l^{k-g}) \\ &= \sum_{l=p}^{n-1} \sum_{g \geq 1} O(l^{k-g}) \\ &= \sum_{l=p}^{n-1} O(l^{k-1}) \\ &= O(n^k) \end{aligned}$$

よって、 $i = 1, 2, \dots, 2^{m-1}$ と、自然数 n, k について

$$\alpha_i(n, k) \leq O(n^{k-1})$$

であることが言えた.

さらに $i = 1$ の場合について、

$$\textcircled{1} \quad \alpha_1(n, 1) = 1 = O(1)$$

$$\textcircled{2} \quad \alpha_1(n, k) = O(n^{k-1}) \text{と仮定すると}$$

$$\begin{aligned} \alpha_1(n, k + 1) &= \sum_{l=p}^{n-1} P_1(l, k + 1) \\ &= \sum_{l=p}^{n-1} \sum_{g \geq 1} \sum_{j=1}^{2^{m-1}} c_{g,j} \alpha_j(l - 1, k - g + 1) \\ &\geq \sum_{l=p}^{n-1} \sum_{g \geq 1} c_{g,1} \alpha_1(l - 1, k - g + 1) \\ &= \sum_{l=p}^{n-1} \sum_{g \geq 1} O(l^{k-g}) \\ &= \sum_{l=p}^{n-1} O(l^{k-1}) \\ &= O(n^k) \end{aligned}$$

よって $\alpha_1(n, k) \geq O(n^{k-1})$ であり、

$$\alpha_1(n, k) = O(n^{k-1})$$

が示された. 以上から

$$f(n, k) = O(n^{k-1})$$

である.一例として、 $m = 3$ のときの漸化式の計算結果(表 3.付録)を載せた.

4. まとめ

以上より分割数 $f(n, k)$ について縦幅 m を固定したとき、横幅 n の order は m にかかわらず n^{k-1} であることが示された.本研究では回転させたり、ブロックの配置を変えたりして同じになるものも異なるものとして扱ったが、それらを同じものとして分割数を考察するのが今後の課題である.また本研究では平面を扱ったが、立体で考察するなどの余地がある.

5. 参考文献

1) Joshua Smith and Helena Verrill, On Dividing Rectangle into Rectangles, <http://oeis.org/A116694/a116694.pdf>, 2022.2.3

6. 付録

	1	2	3	4	5	6
1	1	2	4	8	16	32
2	2	8	34	148	650	2864
3	4	34	322	3164	31484	314662
4	8	148	3164	70878	1613060	36911922
5	16	650	31484	1613060	84231996	4427635270
6	32	2864	314662	36911922	4427635270	535236230270
7	64	12634	3149674	846280548	233276449488	64878517290010

図 4. $n \times m$ の長方形の分割数. 参考文献 1 より引用

表 3. 漸化式の計算結果($1 \leq n \leq 10, m = 2$)

k \ n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3		4	9	15	22	30	39	49	60	72
4		1	13	37	74	125	191	273	372	489
5			7	47	147	335	640	1092	1722	2562
6			1	33	183	596	1476	3087	5754	9864
7				10	142	730	2451	6447	14448	28896
8				1	62	603	2955	10158	28008	66354
9					13	321	2556	12108	42363	121275
10					1	100	1540	10831	50071	177610
11						16	611	7119	45940	208520
12						1	147	3318	32224	195171
13							19	1039	16858	143978
14							1	203	6342	82208
15								22	1632	35400
16								1	268	11098
17									25	2417
18									1	342
19										28
20										1

表 4. 漸化式の計算結果($1 \leq n \leq 10, m = 3$)

k \ n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	1	8	16	25	35	46	58	71	85	100
4		13	44	94	164	255	368	504	664	849
5		7	87	281	631	1180	1972	3052	4466	6261
6		1	94	585	1868	4426	8832	15750	25936	40239
7			50	809	4048	12833	31709	66885	126420	220410
8			12	710	6334	28425	89934	229706	507340	1008426
9			1	375	7090	48156	202054	638905	1675137	3842409
10				112	5530	62274	361500	1449784	4584312	12273433
11				17	2897	60795	515425	2699193	10479200	33144035
12				1	976	43904	582608	4130224	20111306	76193043
13					199	22842	516388	5181555	32468463	1.5E+08
14					22	8298	353194	5296256	44050440	2.52E+08
15					1	2022	182750	4367734	50037142	3.64E+08
16						311	69880	2869022	47293378	4.48E+08
17						27	19188	1477996	36880089	4.7E+08
18						1	3638	586451	23479310	4.17E+08
19							448	175404	12052699	3.11E+08
20							32	38467	4917726	1.93E+08
21							1	5949	1568305	98930528
22								610	382924	41254958
23								37	69660	13829219
24								1	9080	3667085
25									797	753825
26									42	116917
27									1	13156
28										1009
29										47
30										1

日本の定理による五角形の種類

辻本陽一 花田彩

要旨

日本の定理によれば、円に内接する任意の多角形の頂点を通る三角形に分割すると、分割方法によらずそれらの内接円の半径の和は常に等しい。内接円の半径の和をもとにした五角形の種類を試みた。独自の指標を作り多数の多角形からデータを取った。五角形の頂点を通る二次曲線の離心率と指標の相関を調べたところ、正の相関がみられた。また、五角形と円の近さと、指標に相関があることも示唆された。

1. はじめに

平面図形の多角形に関する定理に日本の定理というものがある。図1のように円に内接する多角形において、多角形の頂点を通る直線で三角形に分割したとき、三角形の内接円の半径の和は分割の方法によらず、常に等しくなるという定理で、詳しい説明は上垣¹⁾などに記載されている。

円に内接しない多角形については、分割の方法によって内接円の半径の和は一定とは限らない。つまり、円に内接する多角形の場合、内接円の半径の和の分散は0であるが、円に内接しないならば分散は0以上の値をとる。

そこで私たちはこの分散を用いることで、円に内接する多角形を基準とした分類ができるのではないかと考えた。

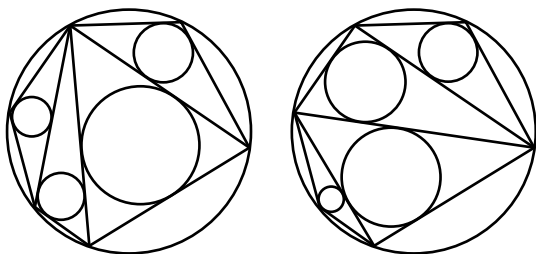


図1 日本の定理

左の内接円の半径の和は左右で等しい。

2. 研究方法

凸五角形に対して、分類のための指標 I を定義し、2種類の実験を行った

2-1. 指標の定義

I を以下のように定義した。

- 五角形を対角線で三角形に分割し、それらの内接円の半径の和を計算する。5通りすべて計算し、和を s_1, s_2, \dots, s_5 とする。
- s_1, s_2, \dots, s_5 の標準偏差を σ とする。
- $I = \frac{\sigma}{s_1 + s_2 + \dots + s_5}$ とする。

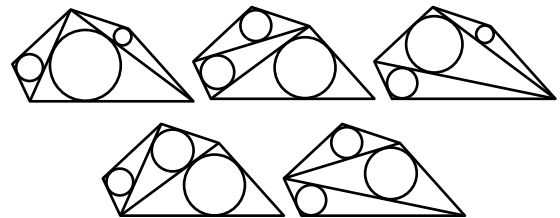


図2 5通りの分け方

2-2. 実験1

正五角形の頂点を一つずつ動かし、五角形が変形するにしたがって指標 I と五角形の頂点を通る二次曲線の離心率 e を求め、その関係から五角形の種類ができないか調べた。一般の位置にある5点について、5点を通る二次曲線があることが知られている。

実験を以下の2つの条件で行った。

- 動かす頂点、向き、距離に条件を与えず自由に動かす
- 図3のように正五角形の1つの頂点を、正

五角形の中心が端点で、その頂点を通る半直線上を動かす

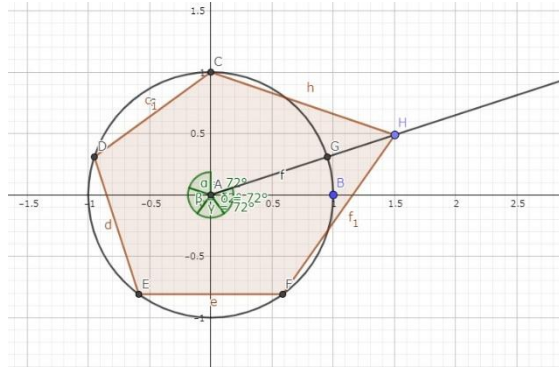


図3 半直線 f 上で点 H を動かす

ただしいずれも変形の際、凸でない五角形にはならないようにした。

I と e のどちらも円に内接するときは 0 で、円以外の二次曲線に内接するときは 0 より大きい値をとるため、円に内接する多角形からの遠さを表すことができると考えた。ここで、円の離心率は 0 とした。

2-3 実験 2

五角形 $P_1P_2P_3P_4P_5$ と点 C に対して、五つの実数 $P_1C, P_2C, P_3C, P_4C, P_5C$ の標準偏差を σ とする。 σ が最小になるように C を選び、 σ を辺の長さ

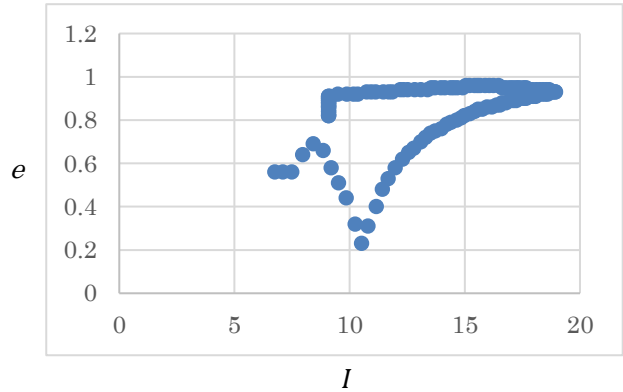
で割ったもの $I' = \frac{\sigma}{P_1P_2+P_2P_3+\dots+P_5P_1}$ を考える。 I'

は五角形が円に内接するとき 0 になることから、円への近さを表していると考えた。

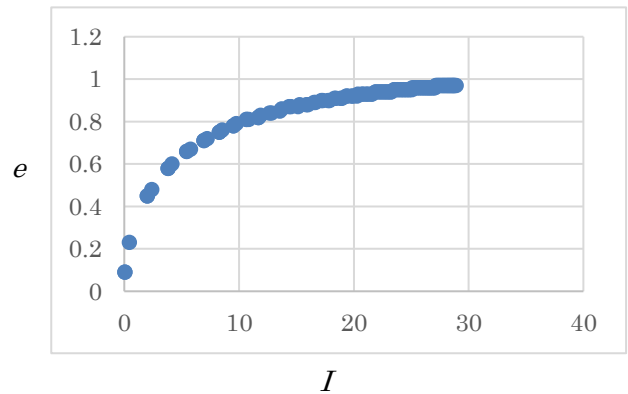
五角形の頂点 P_i を、 r_i, θ_i ($1 \leq i \leq 5$) を $[0,1]$ と $[0,2\pi)$ から一様を選び、 P_i を極座標で $P_i(r_i, \theta_i)$ と定義して指標 I と I' を計算した。ただし、凸でない多角形になるものを除いた。凸になった五角形について指標 I と I' の関係を調べた。

3. 結果

3-1 実験 1 の結果



(A)



(B)

図4 指標 I と離心率 e の関係

(A) ①の場合 (B) ②の場合

実験 1 に関して結果は上のグラフのようになった。(B)のように、頂点の移動を制限した場合は曲線となったのに対し、(A)のように制限しなかった場合は複数の曲線になった。

3-2 実験 2 の結果

結果は図 5 のようになった。 I と I' の相関係数は 0.85475 となり、正の相関がみられた。

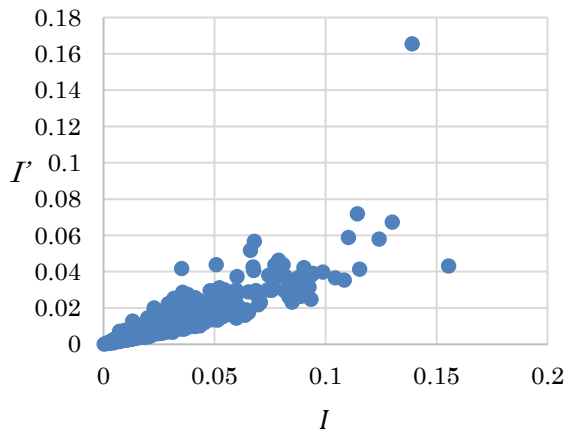


図5 指標 I と I' の関係

4. 考察

実験 1 に関して、条件①のとき離心率と指標の関係のグラフが複数の曲線に分かれたことから、同一の曲線上にある五角形を同じ種類の五角形と定義すれば、指標 I と e を用いることで五角形を分類できる可能性があると考えられる。この定義のもとで、図 1(B)は一つの直線になったことから、条件②の変形で得られる五角形は、同一の種類の五角形として分類できると考えられる。ただしこの研究では離心率 e が 1 以下の場合の場合しか調べていないので、離心率 e が 1 より大きい場合は断定できない。

実験 2 に関して、 I' は円との近さを表すように作った指標であるため I が I' と相関があることから指標 I も多角形の円への近さを表す、もしくは定義できると考えられる。ただし、外れ値があること、完全な比例関係にならないことについては検討する必要がある。これにより、指標 I を使うことで多角形の評価ができる可能性が示唆された。

5. まとめと今後の課題

実験 1 に関しては、離心率と指標 I を用いれば五角形を分類できる可能性があることは分かったが、同一に分類できる図形の条件は②しか特定できなかった。ほかにどのような条件であれば同一に分類できるか調べるのが今後の課題である。

実験 2 に関しては、指標 I によって多角形の円への近さを評価できる可能性が示唆されたが、その正当性などについては今後も調べたい。

6. 参考文献

- 1) 上垣 渉, Japanese Theorem の起源と歴史, https://mieu.repo.nii.ac.jp/?action=repository_uri&item_id=3152

楕円運動における落下時間と走行距離の関係

益川慶之 リビー乃亜

要旨

本研究ではビー玉を漏斗に落下させ、それを通過するまでの時間を、ビー玉の初期の高さごとに測定した。ビー玉の高さが 25 cm より大きいときには時間のばらつきが大きく、通過する時間に変化があまりないことがわかった。ビー玉の高さが 25 cm 未満になると、落下時間は短くなり、測定値のばらつきも小さくなった。このことからビー玉を効率よく落とすには一定の速度よりも小さくしないことがわかった。

1. はじめに

漏斗のような円錐状の構造にビー玉を入れると楕円軌道の軸を変えながらやがて落ちる。その不思議な動きを観測するため、研究を行った。また、漏斗に勢いよく水を流すと、流れが妨げられ、水を流すときに詰まって落ちにくくなったりする。この現象が先に述べたビー玉の不思議な楕円軌道に関係するのではないかと考えた。そこで、本研究では、ビー玉の楕円軌道の性質を観測することで、漏斗で水を流しやすくするための条件がわかるのではないかと考え、ビー玉の運動の様子と落とす条件による落下時間の違いを観測した。

2. 材料・研究方法

同じ条件で複数回の実験を行うために、ビー玉を落下させるためのレールを漏斗に対して固定した。使用した漏斗は直径が 24 cm のステンレス製の漏斗を用いた。また、レールは水平に対して 10 度をなすように固定し、漏斗とレールの配置が変わらないように漏斗とレールの接点の 2 カ所に印をつけた。レールの真下からビー玉までの距離ごとに落下時間を計測した。ビー玉の落ちる様子を観測した。その際にレールから落下し始めてから漏斗の出口を通過するまでの時間を落下時間とした。

3. 結果

図 2 に漏斗の落下時間。縦軸はレールの真下からビー玉の初期位置までの距離で以下、「走行距離」と呼び、横軸はビー玉が漏斗に到達してから漏斗を通過するまでの時間であり、以下「落下時間」と呼ぶ。ビー玉の走行距離が 25 cm までは落下時間が大凡 12 秒～20 秒の間当たりで非常にばらつきが大きい、それ以下の走行距離になると、標準偏差が小さく、ばらつきが小さくなっていることがわかり、同時に、落下時間も小さくなっている。また、走行距離が 5 cm では標準偏差が大きくなった。

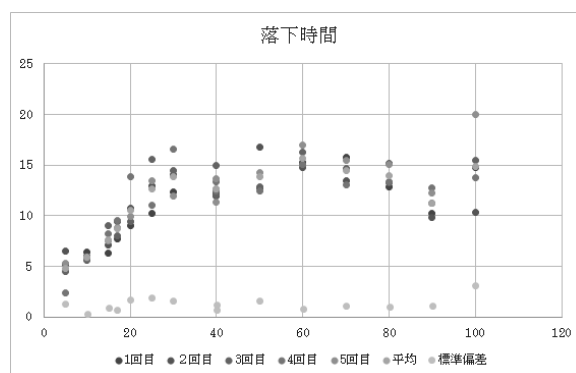


図 1. 漏斗の落下時間

4. 考察

実験から、ビー玉の走行距離が 25 cm までは落下時間がおおよそ 12 秒～20 秒の間当たりで非常にばらつきが大きい、それ以下の走行距

離になると、標準偏差が小さく、ばらつきが小さくなっていることがわかり、同時に、落下時間も小さくなっていることがわかった。これは、ビー玉の走行距離が長くなるにつれて落下開始時の速度が速いために、2回転、3回転と回転回数が大きくなってきてから様々な軌道をとるため、落下時間が非常に長くなったと考える。そのため、落下時間にも非常にばらつきが大きかったのではないかと考える。落下時間が変わらないことについて、レールを通過するときに終端速度に達している可能性もあるが、その場合、速度は均一となるため、ばらつきはむしろ小さくなることが考えられるため、今回は終端速度に達していないものとする。また、ビー玉の走行距離が25 cmを下回ってからは漏斗を通る軌道はそれほどばらつきがないために標準偏差も小さくなったのではないかと考える。しかしながら、走行距離が5 cmのときには非常にばらつきが大きかった。これについては実験において何かトラブルがあった可能性があるとする。

5. まとめと今後の課題

今回の研究から、ビー玉が落下する速度を上げれば漏斗を走行する落下時間が長くなるのではなく、ある一定の速度を下回ったときから急激に落下時間が短くなることがわかった。そのことから、早くビー玉を漏斗に通過させるには、一定量より低い速度にする必要があり、それ以上の速度であれば落下時間が長いだけでなく、ばらつきも大きいため、多量のビー玉を流したときに詰まりやすいことが予測され、これは水を流すときも同様のことが起こりえると考えられる。しかしながら、今回の研究ではレールを通過する速度を測定していないため、レールを通過するときに終端速度に達していないことが前提条件となるため、その前提について調査しなければならない。

6. 参考文献

- 1)原島 鮮,1973, 力学I, 裳華房,頁 232

令和3年度スーパーサイエンスハイスクール
研究活動報告集

令和4年3月発行

発行者 京都府立洛北高等学校

〒606-0851 京都市左京区下鴨梅ノ木町 59

TEL 075-781-0020 FAX 075-781-2520