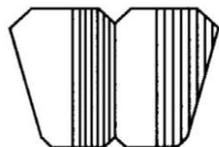


平成 29 年度指定 スーパーサイエンスハイスクール

令和元年度

研究活動報告集

第 3 年次



令和 2 年 3 月

京都府立洛北高等学校

目次

【化学】

ルミノール反応による化学発光～暗闇を照らせ！災害時のヒーローに～	1
喜多川珠吏・中川美沙・中島深名美・山崎沙和	
ハーブや茶葉の大腸菌抑制作用～天然抗菌スプレー作製を目指して～	6
辻川茜・橋場和奏・和田瑛怜奈	
酸化還元反応を用いた無機顔料の色の変化～プルシアンブルーをベルリンググリーンに変える～	10
神田七穂・増田琳	
食品廃棄物で作製した活性炭の水質浄化作用	14
吾妻愛子・小西亜依・山田葵	
乾燥率から見る水と紙の凹凸の関係～雨で濡れた教科書を生き返らせよう～	19
井邊凜・河部美央・竹村向日葵	
野菜から抽出したサポニンの定量	23
石本絢音・後愛唯・江川真由香・水谷季花子	

【生物】

節足動物は危険な匂いを避けるか～ダンゴムシを用いた対照実験～	27
石井友樹・後藤拓磨・塩島健吾	
納豆で水中ゴミを集めよう！～Let's collect the garbage in the water with NATTO!～	30
今西美結・栗田青依・小山七々子・山本果歩	
ゼブラフィッシュの恐怖行動伝達～彼らは視覚で恐怖を伝達しているのか～	34
黒澤幸誠・黒田俊介・村上逸紀	
eDNAを用いた琵琶湖疎水及びその下流域でのブルーギルの生息域調査	37
川本青汰・嶋村悠・田野入昭人	
トビケラシルクの性質～水中接着剤を作ろう！～	42
小島秀人・塩谷友梨・野村純・安井瑛大朗	
薬物投与によるシロカネグモの凶暴性の低下	48
梅原成哉・萱野創太・松原和志	

【環境】

恋を知らばや拾遺集を知るべき

～和歌の修辞法の文学的・言語的分析による拾遺和歌集の撰者考察～..... 52

飛鳥井翠・花岡優佳

現代社会における SNS の利用と承認による快樂～アンケートを用いた高校生の実状～ 55

久保翔碁・富田蒼空

FM ラジオの役割と再興 59

小川美優・中島由衣

課金で環境を変えよう！～SDGs の取り組みについて～ 64

堀川琴音・村上涼世

中高生への囲碁普及の具体的方策 69

武谷謙吾・谷口晶星・樋川遥香・森田拳

防災ボードゲームの開発 74

東谷航平・三浦可惟・矢賀環規

ヴィーガンは環境に良い影響を与えるか？ 78

友光麻結・福島沙都子

地下水の和菓子への影響 ～京都の各地域の地下水比較～ 85

石田花・永田万桜・前川万侑子

【物理地学】

ダイラタンシー～鉄球の自由落下を用いたダイラタンシー性の比較と、

抵抗力を示すダイラタンシー流体の構造の考察～ 91

白井眞子・嶽盛蒼太・松村侑香・村島美桜子・山崎祐吾

小型回転体を利用したエネルギー貯蔵システム

～力学的エネルギーを利用した電力量貯蔵システムの小型化を目指して～ 97

亀若遼大・高見堂朋大・内藤駿・美濃宏太

再帰性反射を用いた空間投影装置の作製 102

関司陽二郎・西岡美南・ブラウン露七・堀本英志

【数学】

領域内の点からの距離の最大値を最小化するような2点の配置 107

今井翔太

ウボンゴのピースの配置が一意になる条件 110

松田与

ババ抜きにおけるジョーカーの初期位置と勝率の関係 114

北山太陽

三角形の一つの頂点を動かした時の五心の軌跡 117

八木悠斗

ルミノール反応による化学発光

～ 暗闇を照らせ！災害時のヒーローに ～

喜多川珠吏 中川美沙 中島深名美 山崎沙和

要旨

ルミノール発光における触媒の種類や反応物の量を変えることによって対照実験を行い、最適条件を探す。結果として、反応前の pH は 11 周辺が輝度、持続性ともによい。また、触媒は 0.10 g 周辺のとき反応時間がより長い。pH が高いほど反応の初めは明るいことがわかった。

1. はじめに

ルミノール反応を用いて、災害時に電気を用いずに長時間明るく安全に光るライトを作成することを試みた。

ルミノール反応とは、ルミノールと水酸化ナトリウム (NaOH) を混合したアルカリ溶液に鉄を含む物質を触媒として過酸化水素水を反応させると過酸化中間体を経て窒素の脱離とともに励起状態のアミノフタル酸ジアニオンに変化し、これが基底状態に戻る際に青白い発光が見られる反応である。『ルミノールとルシゲニンの化学発光の機構と反応条件(大場茂 向井知大, 2010 年)』

先行研究として、始めに DMSO (ジメチルスルホキシド) を加えたものとそうでないもので対照実験を行ったところ加えたものの方が明るく光ることがわかった。次に触媒の量について対照実験を行うと量が多いほうが反応時間は長いとわかった。

このことから DMSO は反応を活発にする働きがあり、触媒は反応時間を持続させる働きがあると考えられるのでそれぞれ量についてさらに対照実験を行った。

2. 材料・研究方法

2-1. 研究試料

- ・ヘキサシアニド鉄(III)酸カリウム
- ・ヘモグロビン(牛)
- ・水酸化ナトリウム

- ・過酸化水素水 0.3%
- ・ルミノール
- ・純水
- ・ジメチルスルホキシド

2-2. 研究方法

輝度計測はスマートフォンアプリ QUAPIX Lite を使用した。

実験①

(1) 水酸化ナトリウム 0.016 g を 200 mL ビーカーにとり、純水 80 mL を加え、さらにジメチルスルホキシド 20 mL とルミノール 0.01 g を加えて溶液を作った。(溶液 A)

水酸化ナトリウム 0.016 g を 200 mL ビーカーにとり、純水 70 mL を加え、さらにジメチルスルホキシド 30 mL とルミノール 0.01 g を加えて溶液を作った。(溶液 B)

水酸化ナトリウム 0.016 g を 200 mL ビーカーにとり、純水 60 mL を加え、さらにジメチルスルホキシド 40 mL とルミノール 0.01 g を加えて溶液を作った。(溶液 C)

水酸化ナトリウム 0.016 g を 200 mL ビーカーにとり、純水 50 mL を加え、さらにジメチルスルホキシド 50 mL とルミノール 0.01 g を加えて溶液を作った。(溶液 D)

(2) ヘキサシアニド鉄(III)酸カリウム 0.2 g を 200

mLビーカーにとり、過酸化水素水 6 mL を加え、さらに純水 94 mL を加えて溶液を作った。(溶液 E) 同じものをあと 4 個作った。

(3) 駒込ピペットで溶液 A~D を 10 mL ずつとり、それぞれ溶液 E に加えた。

実験②

(1) 水酸化ナトリウム 0.8 g を 200 mL ビーカーにとり、純水 80 mL を加え、さらにジメチルスルホキシド 20 mL とルミノール 0.01 g を加えて溶液を作った。(溶液 F)

水酸化ナトリウム 1.6 g を 200 mL ビーカーにとり、純水 80 mL を加え、さらにジメチルスルホキシド 20 mL とルミノール 0.01 g を加えて溶液を作った。(溶液 G)

水酸化ナトリウム 2.4 g を 200 mL ビーカーにとり、純水 80 mL を加え、さらにジメチルスルホキシド 20 mL とルミノール 0.01 g を加えて溶液を作った。(溶液 H)

水酸化ナトリウム 3.2 g を 200 mL ビーカーにとり、純水 80 mL を加え、さらにジメチルスルホキシド 20 mL とルミノール 0.01 g を加えて溶液を作った。(溶液 I)

(2) ヘキサシアニド鉄(III)酸カリウム 0.2 g を 200 mL ビーカーにとり、過酸化水素水 6 mL を加え、さらに純水 94 mL を加えて溶液を作った。(溶液 J) 同じものを計 4 個作った。

(3) 駒込ピペットで溶液 F~I を 10 mL ずつとり、それぞれ溶液 J に加えた。

実験③

(1) 水酸化ナトリウム 0.16 g を 100 mL ビーカーにとり、純水 40 mL を加え、さらにジメチルスルホキシド 10 mL とルミノール 0.01 g を加えて溶液を作った。(溶液 K)

水酸化ナトリウム 0.016 g を 100 mL ビーカーにとり、純水 40 mL を加え、さらにジメチルスルホキシド 10 mL とルミノール 0.01 g を加えて溶液

を作った。(溶液 L)

水酸化ナトリウム 0.0016 g を 100 mL ビーカーにとり、純水 40 mL を加え、さらにジメチルスルホキシド 10 mL とルミノール 0.01 g を加えて溶液を作った。(溶液 M)

水酸化ナトリウム 0.8 g を 100 mL ビーカーにとり、純水 40 mL を加え、さらにジメチルスルホキシド 10 mL とルミノール 0.01 g を加えて溶液を作った。(溶液 N)

(2) ヘキサシアニド鉄(III)酸カリウム 0.1 g を 100 mL ビーカーにとり、過酸化水素水 3.0 mL を加え、さらに純水 47 mL を加えて溶液を作った。(溶液 O) 同じものを計 4 個作った。

(3) 駒込ピペットで溶液 K~N を 10 mL ずつとり、それぞれ溶液 O に加えた。

実験④

(1) 水酸化ナトリウム 0.8 g を 100 mL ビーカーにとり、純水 40 mL を加え、さらにジメチルスルホキシドを 10 mL とルミノール 0.01 g を加えて溶液を作った。(溶液 P) 同じものを計 4 個作った。

(2) ヘキサシアニド鉄(III)酸カリウム 0.05 g を 100 mL ビーカーにとり、過酸化水素水 3.0 mL を加え、さらに純水 47 mL を加えて溶液を作った。(溶液 Q)

ヘキサシアニド鉄(III)酸カリウム 0.10 g を 100 mL ビーカーにとり、過酸化水素水 3.0 mL を加え、さらに純水 47 mL を加えて溶液を作った。(溶液 R)

ヘキサシアニド鉄(III)酸カリウム 0.15 g を 100 mL ビーカーにとり、過酸化水素水 3.0 mL を加え、さらに純水 47 mL を加えて溶液を作った。(溶液 S)

ヘキサシアニド鉄(III)酸カリウム 0.20 g を 100 mL ビーカーにとり、過酸化水素水 3.0 mL を加え、さらに純水 47 mL を加えて溶液を作った。(溶液 T)

(3) 駒込ピペットで溶液 P を 10 mL ずつとり、そ

れぞれ溶液 Q~T に加えた。

実験⑤

(1) 水酸化ナトリウム 0.8 g を 100 mL ビーカーにとり，純水 50 mL を加え，さらにルミノール 0.01 g を加えて溶液を作った。(溶液 U) 同じものを計 3 個作った。

(2) ヘキサシアニド鉄(III)酸カリウム 0.1 g を 100 mL ビーカーにとり，過酸化水素 3.0 mL を加え，さらに純水 47 mL を加えて溶液を作った。(溶液 V)

ヘモグロビン(牛) 0.003 g を 100 mL ビーカーにとり，過酸化水素 3.0 mL を加え，さらに純水 47 mL を加えて溶液を作った。(溶液 W)

ヘモグロビン(牛) 0.006 g を 100 mL ビーカーにとり，過酸化水素 3.0 mL を加え，さらに純水 47 mL を加えて溶液を作った。(溶液 X)

(3) 駒込ピペットで溶液 U を 10 mL ずつとり，それぞれ溶液 V~X に加えた。

3. 結果

実験① DMSO の量に関わらずどの条件下でも光の強さ，反応持続時間は変わらなかった。

実験② 溶液 G(水酸化ナトリウム 1.6 g)，溶液 H(水酸化ナトリウム 2.4 g)，溶液 I(水酸化ナトリウム 3.2 g) は強い光を発して，一瞬で光が消えたが溶液 F(水酸化ナトリウム 0.8 g) は持続して明るく光った。

実験③ 表 1 参照。表中の pH12.8 は溶液 N，pH12.1 は溶液 K，pH11.1 は溶液 L，pH10.1 は溶液 M である。

実験④ 表 2 参照。

実験⑤ 表 3 参照。

4. 考察

実験①より DMSO は空気中の酸素を溶かす働きをする(大場ら，2010) が空気と触れる面積が変化しないため一定以上加えても効果は得られないと考えられる。

実験②より溶液 F(pH12.8) は持続的に光ったが，溶液 G(pH13.1) 溶液 H(pH13.3) 溶液 I(pH13.4) は瞬間的にしか光らなかったため pH13 以上は適さないと考えられる。

実験③より溶液 N(pH12.8) は輝度が激しく低くなったため，持続性は乏しいと考えられる。溶液 L(pH11.1) は初期の輝度が溶液 K(pH12.1) 溶液 M(pH10.1) より高く，緩やかに低下したため，持続性に優れていると考えられる。

実験④より計測開始より 1 分間は触媒の量が多い溶液 S 溶液 T のほうが溶液 Q 溶液 R に比べ，輝度が高かった。1 分以降は溶液 Q 溶液 R のほうが溶液 S 溶液 T に比べ，輝度が高かったため持続性があると考えられる。溶液 R は溶液 Q に比べて初期の輝度が高かったため，適量であると考えられる。

実験⑤よりヘモグロビンの量が多い溶液 X のほうが溶液 W より輝度が高く，溶液 V ヘキサシアニド鉄(III)酸カリウムより安定した光を発したため，持続性があると考えられる。

5. まとめと今後の課題

今回の実験より触媒の量は 0.10 g が最適であり，pH 値については 11.1 が輝度，持続性ともに最適だと考えられる。

今後の課題として，pH11.1 の条件下で触媒の量を変えて輝度を計測していきたい。またより微弱な光の輝度を計測できる機械を用いて実験したい。ヘモグロビンを触媒として用いた対照実験のデータが十分でないので追加実験を行いたい。

6. 参考文献

大場茂，向井知大，2010，ルミノールとルシゲニンの化学発光の機構と反応条件。慶応義塾大学日吉紀要刊行，No48，p.31-57

7. 添付資料 (表内の値の単位は cd/m^2)

表 1. 実験 3 pH と輝度・持続性の関係

時間(s) pH	0	20	40	60	80	100	120	140
12.8	4.6	1.7	0.9	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1
12.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
11.1	0.6	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
10.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

表 2. 実験 4 触媒の量と輝度・持続

時間(s) 触媒(g)	0	30	60	90	120	150	180	210
0.05	1.4	0.8	0.4	0.3	0.3	0.1	0.2	0.1
0.10	2.3	0.8	0.5	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1
0.15	3.3	1.2	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1
0.20	3.5	0.9	0.5	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1

表 3. 実験 5 触媒の量・種と輝度・持続性の関係

時間(s) 触媒(g)	0	30	120
0.10	0.7	0.1	0.1

触媒はヘキサシアニド鉄(III)酸カリウム

時間(s) 触媒(g)	0	30	120
0.003	0.2	0.1	0.1
0.006	0.2	0.1	0.1

触媒はヘモグロビン (牛)

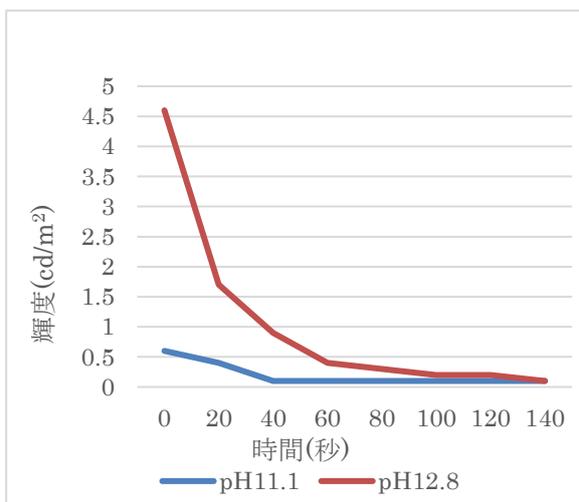


図1 実験3 pHと輝度・持続性の関係



実験4 反応開始時の様子

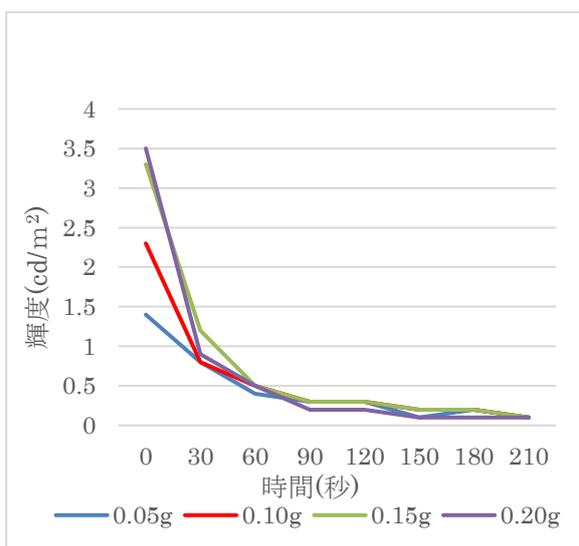


図2 実験4 触媒の量と輝度・持続性の関係



実験4 反応開始時アプリによる計測の様子

ハーブや茶葉の大腸菌抑制作用 ～天然抗菌スプレー作製を目指して～

辻川茜 橋場和奏 和田瑛怜奈

要旨

私たちは、植物の抗菌性を用いた抗菌スプレーを作ることを目的に本研究を行った。身近なハーブや茶葉を中心に選び、濃度、親水性成分、親油性成分に焦点を当てて大腸菌に対する抗菌性を検証した。その結果、抹茶は親水性、親油性成分どちらの場合も高い効果を示した。どの植物も親油性成分のほうが効果を示したため、実際のスプレーでも親油性成分を生かすことができる作製方法を検討する必要があると考える。

1. はじめに

植物には抗菌性、殺菌性のある成分をもつものが多くある。現在そのような成分の効果を生かし、バランや抗菌シートという商品として、シート状の食中毒予防製品がある。抗菌シートの多くはカラシやワサビに含まれるアリルカラシ油を抗菌成分として用いている。効果は実証されているが、プラスチックごみになってしまう。そこで、ゴミの出ない天然由来の抗菌スプレーを作ることによって体にも環境にも良いものができると思った。

食中毒には多種の菌が関係するが、今回は大腸菌に絞り、研究を行った。実験対象とする植物は、日常的に使うという視点から身近で入手しやすいものを選んだ。当初は、抗菌性が高いといわれているハーブ類についてのみ考えていたが、緑茶に含まれるカテキンが抗菌作用に長けるとわかり、紅茶(ダージリン)と抹茶も対象として加えた。また、抗菌シートに使われているアリルカラシ油を含む、ワサビの粉末も用いた。

大腸菌の増減をみるために、今回は液体培地を用いて増殖前後の濁度を分光吸光度計を用いて測定・比較した。濁度差が大きいほど大腸菌が増殖したことを示し、効果が薄かったと評価した。

仮説として、実験1に関しては、同じ対象を用いた場合は濃度に応じて差があり、高濃度のほう

が効果が高いと考えた。実験2に関しては、参考文献での記述から、ローズマリーの効果が最も高く、続いて抹茶、ワサビが高いと考え、ハーブ類を加えていない滅菌水は最も効果がないと考えた。実験3に関しては、実験2では抽出できていない親油性の物質の効果が期待できるため、水溶性の抗菌物質しか抽出できていなかった実験2とは大きく異なる結果が得られるのではないかと考えた。予備調査を行ったところ、緑茶に含まれるカテキンや抹茶のテアニンは水溶性でハーブの精油成分にさまざまな抗菌成分が含まれることが分かった(参考文献より)。よって、緑茶や抹茶では、親油性成分を抽出すると効果がより高く出てくるのではないかと考えた。

2. 材料・研究方法

2-1. 研究試料

<実験 1>

・ローズマリー 2.5 g (0.5 g×5)

・滅菌水 27 mL

(以下, 実験 2, 3 でも使用)

・乳鉢, 乳棒

・分光吸光度計

・恒温器

<実験 2> (ハーブ類はすべて乾燥したもの)

・ローズマリー 1.0 g (0.5 g×2)

・タイム 1.0 g

・バジル 1.0 g

・ミント 1.0 g

・パセリ 1.0 g

・ダーズリン 1.0 g

・緑茶(お〜いお茶) 1.0 g

・抹茶 1.0 g

・粉末ワサビ 1.0 g

・滅菌水 160 mL

<実験 3> (ハーブ類は実験 2 と同様)

・サラダ油(日清ヘルシーオフ) 160 mL

・ジメチルスルホキシド(DMSO) 100 μ L

・培地 5 mL×20 本

2-2. 研究方法

<実験 1>

1. ローズマリーを 0.5 g ずつ乳鉢に計量し, すりつぶす. 同じものを 4 つ作る.
2. 滅菌水を 3, 5, 8, 10 mL ずつ加え, 乳鉢ですりつぶしながら混合し, 試験管にうつす(この上澄みを以後スプレーと呼ぶ.)
3. 大腸菌 25 μ g, スプレー1 mL, 培地 5 mL を太い試験管に入れ, それぞれ混合する.
4. 分光吸光度計を用い, 波長 600 nm で濁度を測定する.
5. 一晩恒温器にかけ, 37°Cに保ち増殖させる.

6. 再度濁度を測定する.

<実験 2>

1. ハーブ類を 0.5 g ずつ計量し, すりつぶす. 1 種類につき 2 つ作る.
2. 滅菌水 8 mL をそれぞれに加え, 実験 1 と同様にスプレーを作る. (写真 1)
3. 大腸菌 10 μ g, スプレー1 mL, 培地 5 mL を太い試験管に入れ, それぞれ混合する. (写真 2, 3)
4. 実験 1 の手順 4. ~6. と同様にする.

<実験 3>

1. 実験 2 の 1. と同様にハーブを計量し, すりつぶす. 1 種類につき 2 つ作る.
2. サラダ油 8 mL をそれぞれに加え, 乳鉢ですりつぶしながら混合.
3. 培地を 100 mL 計量し, DMSO100 μ L と混合して 1000 倍希釈にする.
4. 大腸菌 10 μ g, スプレー1 mL, 3. の操作をした培地 5 mL をそれぞれ混合する.
5. 実験 1 の手順 4. ~6. と同様にする.

3. 結果

<実験 1>

以下の表のようになった.

滅菌水量	増殖前	増殖後	濁度差
3mL	2.559	2.965	+0.406
5mL	1.881	2.550	+0.669
8mL	1.521	2.352	+0.831
10mL	1.212	2.266	+1.054
ハーブなし	0.099	1.789	+1.690

滅菌水は同量のローズマリーに対して異なる量加えていて, 実際利用したスプレー量は 1 mL で統一しているため, 加えた滅菌水量が少ないほど濃度が高い. また, 濁度差が少ないということは大腸菌があまり増殖しなかった, つまり効果が高いと言える. よって表から, 濃度が高いほど効果が高かった.

<実験 2>

対象ハーブ	濁度差
バジル	+0.546
抹茶	+0.718
粉末わさび	+0.724
タイム	+1.118
お〜いお茶	+1.376
滅菌水	+1.500
ダーズリン	+1.629
ミント	+1.790
ローズマリー	+1.942
パセリ	+2.178

バジル、抹茶、粉末わさびで高い効果がみられた。ダーズリン、ミント、ローズマリー、パセリは滅菌水よりも効果がなかった。

<実験 3>

対象ハーブ	濁度差
ミント	-0.6045
抹茶	-0.3360
ダーズリン	-0.3150
パセリ	-0.1415
粉末わさび	-0.0165
お〜いお茶	±0
ローズマリー	+0.0160
油のみ	+0.8695
バジル	測定不能
タイム	測定不能

表において、ミントから粉末わさびまでは濁度が減少した。お〜いお茶は、平均をとると±0となった。サラダ油のみのは最も効果を示さなかった。バジル、タイムはすりつぶした粉末が細かすぎたのか粘度が高くなり、スプレーをうまく計量することができず測定することができなかった。

4. 考察

実験 1 より、濃度が高いほうが抗菌性が高いということが確認できる。

実験 2 より、バジル、抹茶、粉末わさびがもつ成分は特に抗菌性を示す。しかし、バジルと抹茶に関しては増殖前の濁度の値が 2.0 を超えていて、これは分光吸光度計において誤差が大きくなる値の範囲だとされているため、他の結果と同等に比較することはできないと考えられる。また、滅菌水が一番効果がないと考えて基準としたが、ダーズリン、ミント、ローズマリー、パセリは滅菌水よりも効果がない。ここから、これら 4 つの植物に含まれる一部の成分が大腸菌が増殖する際の栄養素としてはたらき、増殖を助長してしまったと考える。ローズマリーは当初効果が高いと考えていたため、今結果は仮説と異なるものだった。今実験では親水性成分のみの結果となっていると考えられるため、親油性成分について同様に実験を行うと、異なる結果が得られると考える。

実験3においては、ほとんどの場合で濁度が減少してしまったため仮説とはかなり異なる結果となった。DMSO の濃度はかなり薄かったため DMSO の濃度による影響とは考えにくい。ただ、今回使用した油には大豆油が含まれていて、大豆抽出物の植物油には抗菌作用を有する不飽和脂肪酸や細菌に対する抗菌作用を有するアミノ酸類が大量に含まれている(参考文献より)ため、使用した油とハーブの成分の両方が作用することによって大腸菌に対し殺菌効果を示したと考えられる。しかし親油性成分がこんなにも殺菌効果を示すとは考えにくいので、DMSO の使用量を変えることで、親油性であるスプレーと親水性である培地をよりうまく混合し、成分の働きをみる必要がある。

今回の実験結果のみから考えると、親油性成分が親水性成分より抗菌性をもつと考えられるため、実際スプレーを作製する際には親油性成分が生かされるよう、溶媒を工夫する必要があると考えら

れる。

5. 今後の課題

以下が今後の課題としてあげられる。

- ・DMSO の濃度を高くして実験すること(実験 3 において、DMSO の濃度が低すぎたためスプレーと培地が十分に混ざりきっておらず、親油性の成分が十分に働いていなかったと考察した)
- ・スプレーを作ってから使用するまでの時間をもう少し空けて実験すること(DMSO を使ったときは滅菌水を使った時より親水性のものと親油性のものが混ざり合うのに時間がかかったと考えた)
- ・実験 2, 実験 3 の結果を踏まえて抗菌作用を持つ成分を特定することで、同じ成分を持つほかの植物に派生させて実験をすることで結果を広げること
- ・今回は大腸菌を用いて実験を行ったが、腐敗や食中毒に関係する菌はほかにもあるので、ほかの菌についても調べ同じ実験を行い、効果の高いスプレーを作ること
- ・ハーブを使ってスプレーを作ったときに色が濃かったりにおいが強かったりしたので最終的には、脱色や消臭をする方法を調べて確立することで実際に使えるスプレーを作ること

6. 参考文献

ジル・デイヴィーズ, 2018.5.28, カラー図鑑
ハーブの秘密〈利用法・効能・歴史・伝承〉, 西村書店, p.192

岩崎賢一, 2014.4.12, 朝日新聞教育プロジェクト(2014年4月12日付)

<https://www.asahi.com/shimbun/nie/amate/20140412/>, 2019.11.2

Ps&Qs, 抗菌メカニズム, <http://www.peacecue.com/products/koukin.html>, 2020.1.

9

7. 添付資料



写真 1 成分を抽出



写真 2 大腸菌, 培地を混合

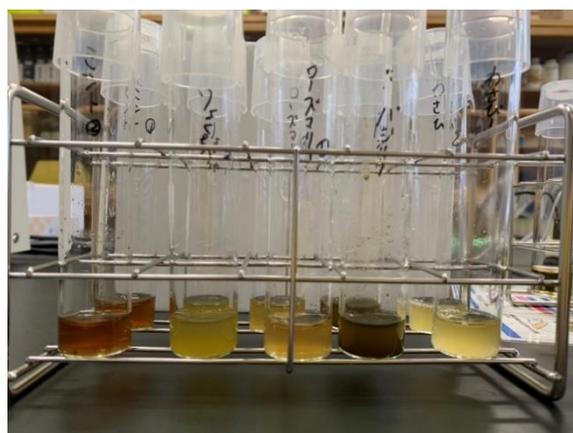


写真 3 スプレーを混合

酸化還元反応を用いた無機顔料の色の変化

～ プルシアンブルーをベルリンググリーンに変える ～

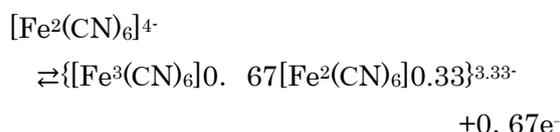
神田七穂 増田琳

要旨

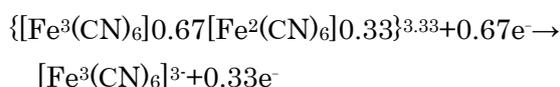
色が退色することや変色する様子について興味を持ち、その理由、またどのようにすれば人工的に色を変化させられるだろうかということに興味を持った。無機顔料であるならば酸化還元反応が色の変化する大きな原因と考え、プルシアンブルーに酸化剤を用いて酸化反応を起こした。その結果プルシアンブルーは酸化反応により色が変わるということが分かった。またその結果生じたベルリンググリーンの状態で留めるためには、未変化のプルシアンブルーと生じたプルシアンイエローのバランスを保つ必要があると考えられた。

1. はじめに

プルシアンブルーはヘキサシアニド鉄(II)酸カリウム $K_4[Fe(CN)_6]$ と Fe^{3+} の水溶液を混合したときにできる沈殿物である。プルシアンブルーの化学式は $[Fe(CN)_6]^{4-}$ と表される。(Jo Kirdy and David Saunders 2004 によると



でありプルシアンブルーが電子の放出によりベルリンググリーンに変化することが報告されている。またベルリンググリーンは



としてプルシアンイエローに変化することが報告されている。)

このことから私たちは、プルシアンブルーから電子を強制的に移動させることでベルリンググリーンに変化させることができるのではないだろうかと考えた。そこで次のような予備実験を行った。プルシアンブルーを炭素電極につなぎ電源装置を用いて電子を移動させたところ、プルシアンブルーの色が変化し緑を帯びた色に変化しているのが確認された。しかし色はすぐに青色に戻ったためベルリ

ングリーンがプルシアンブルーよりも安定していない物質であると考えられた。そこで私たちはベルリンググリーンである状態を長く保つために次のように仮説を立てた。酸化剤を用いてプルシアンブルーを酸化しベルリンググリーンに変化させた後、還元剤を加えることで加えた酸化剤の反応を止める。そうすることで e^- の移動が起こらなくなりベルリンググリーンがプルシアンブルーに変化しづらくなり、その結果ベルリンググリーンの状態をより長く保つ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

プルシアンブルーは 0.02 mol/L の塩化鉄塩酸溶液と 0.1 mol/L のフェリシアン化カリウムを過不足なく反応させたものを使用した。

酸化剤	0.1 mol/L さらし粉溶液	16 mol/L 硝酸
還元剤	0.1 mol/L チオ硫酸ナトリウム溶液	1.0 mol/L シュウ酸

酸化剤、還元剤は上記のものを使用した。

2-2. 研究方法

- 1 プルシアンブルーに純水を加え懸濁した.
- 2 1に酸化剤を加えて色の変化を確認した.
- 3 色の変化を確認後, 2に還元剤を加えて色の変化の経過を確認した.

これを次の三通りの酸化剤と還元剤の組み合わせで行った.

	①	②	③
酸化剤	さらし粉	硝酸	硝酸
還元剤	チオ硫酸 ナトリウム 溶液	チオ硫酸 ナトリウム 溶液	シュウ酸

3. 結果

それぞれの結果は次の通りである.

実験①

酸化剤を滴下した後, プルシアンブルーはすぐにプルシアンイエロー(写真 1)に変化してしまいベルリンググリーンを取り出すことはできなかった. 次に酸化剤と還元剤をほぼ同じタイミングで滴下した. すると緑色の沈殿(写真 2)を取り出すことができた. またその沈殿物は時間がたっても緑色の状態を維持し続けた. しかしその色は不鮮明であった.

実験②

酸化剤を滴下すると①とは違いゆっくりと色が変化したのち鮮明なベルリンググリーン(写真 3, 写真 4)が確認された.

実験③

実験②と同じように硝酸を滴下しベルリンググリーンに変化させた後, 還元剤を滴下すると, 鮮明であったベルリンググリーン(写真 5)は青色に戻ってしまった(写真 6).

4. 考察

実験①について

プルシアンブルーを酸化させることでプルシアンイエローに変わることが確認できた. はじめベル

リンググリーンを取り出せなかった理由が, 還元剤を加えるタイミングが遅かったからだと考えた. なぜならプルシアンブルーとベルリンググリーンの間は可逆反応だがベルリンググリーンとプルシアンイエローの間は不可逆反応なので, 酸化させすぎるとベルリンググリーンには戻らないからだ. また還元剤を入れるタイミングを早めた時に得られた緑色の顔料の色が不鮮明だったのは, さらし粉の漂白作用によるものと思われる. したがって鮮明な色の顔料を得るために漂白作用のない酸化剤を用いる必要があると思われる. さらに, 得られた緑色がベルリンググリーンであるかどうかを判断するために吸光度や測定するなどをして数値化することが必要である.

実験②について

酸化剤と還元剤の力が実験①よりも釣り合っていたと考えられる. しかし, 顔料を保存するためにろ過する際に白い泡が混じって鮮明な色が見られないという問題点もある.

実験③について

ベルリンググリーンを得られなかったのはシュウ酸の還元力が硝酸の酸化力と比べ強かったからだと考えられる. また Fe^{2+} 自身の還元力を考えることができておらず, 適当な酸化剤と還元剤を用いることができなかったのではないだろうか.

これらのことから, プルシアンブルーからベルリンググリーンに変化させたのち酸化剤と還元剤の強さを調整することで, ベルリンググリーンの状態を長時間保つことができる可能性が高まるのではないだろうか.

5. まとめと今後の課題

上記の実験①から③で生じた問題点を改善するために, 次の実験で Fe^{2+} の還元力を測ろうと考えた. 酸化剤に過マンガン酸カリウム, 還元剤に Fe^{2+} を用いて酸化還元滴定をする. また得られる緑色の顔料は, 分光光度計でベルリンググリーンと同じ色かどうかを確かめる(現在までの結果を写

真 7, 写真 8 に示す). 次に自分たちで調整していたプルシアンブルーではなく, 購入したプルシアンブルーを用いて実験を行い(写真 9), 分光光度計を通して, 過マンガン酸カリウムを用いて作ったベルリンググリーンとプルシアンブルーの色の違いをみた. その結果分光光度計で得られたグラフではプルシアンブルーとベルリンググリーンの違いは見られなかった. つまり実験で得られた緑色の顔料がプルシアンブルーかベルリンググリーンなのかを, 分光光度計で判断することは難しい. よって得られた顔料をベルリンググリーンと判断するためには別の方法による数値化が必要であると考え.

この酸化還元滴定から推定される Fe^{2+} の還元力の強さから, プルシアンブルーと釣りあう強さを持つ酸化剤と還元剤の組み合わせに見当をつけられるかもしれない. これを用いて今後の実験では, プルシアンブルーをベルリンググリーンに変えるうえでの最適な組み合わせを探していきたい. またベルリンググリーンと判断するための数値化ができる方法も探していきたい.

6. 参考文献

Jo Kirby and David Saunders 2004 Fading
and Color Change of Prussian Blue:
Methods of Manufacture and the
Influence of Extenders National
Gallery Technical Bulletin Volume 25

7. 添付資料



写真 1

実験①によってできたプルシアンイエロー

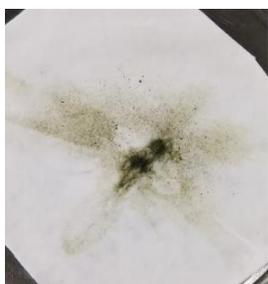


写真 2

実験①によってできた緑色の沈殿物



写真 3

実験②でできたベルリングリーン, 写真 4 は 3 のベルリングリーンをろ過したもの



写真 4



写真 5

左はプルシアンブルー, 右は硝酸を入れたもの



写真 6

写真 5 の一日後

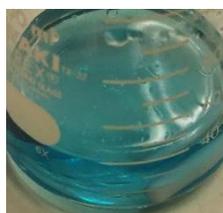


写真 7



写真 8

写真 8 は写真 7 の後に過マンガン酸カリウムを滴下したもの



写真 9

左が過マンガン酸カリウム滴下前, 右が滴下後

食品廃棄物で作製した活性炭の水質浄化作用

吾妻愛子 小西亜依 山田葵

要旨

本研究では、食品廃棄物で活性炭を作製し、それが市販されているものと同様な効果を有するかを調べた。その為に、作製した活性炭の水質浄化作用を、市販の活性炭と比較した。その結果、市販品には劣るものの同様な水質浄化作用を持つものを作製できることが分かった。しかし、試料とした廃棄物に含まれる物質や成分の量によって想定外の作用が現れたり、賦活剤の量が適切でないために保存に支障が出たりした。そのため、食品廃棄物から恒常的に同じ質の活性炭を作ることや、賦活剤の種類や量などの条件の最適な一定値を提示することは難しいと思われる。

1. はじめに

食品廃棄物の多さは社会問題となっている。トウモロコシの芯を用いて活性炭を作製することができること知り、活性炭が作製可能となる条件やその作用次第では食品廃棄物の有効な利用方法の一つとして提示することができると考えた。

食品廃棄物という多様な物質からなる混合物を活性炭として作製し利用するためには、活性炭として利用可能な条件を検討することが必要である。本実験では、安易に手に入るコーヒー殻、水分量の大きく異なる物質としてピスタチオ殻、キュウリ、ニンジンを用いた。また、ピスタチオ殻の実験結果を受けて油脂成分が活性炭の作用に影響を及ぼすと考えられたため、ゴマを試料として用いた。

2. 研究試料

食品廃棄物。今回の実験では、コーヒー殻、ピスタチオ殻、キュウリのヘタ、ニンジンのヘタと皮、ゴマを使用した。ゴマ以外は食品廃棄物として廃棄する部分を使用した。また、賦活剤として、炭酸カリウムと炭酸カルシウムを使用した。

3. 研究方法

3-1. 活性炭の性質を持つ物質の作製

①乾燥させたコーヒー殻 3 g をろつぼに入れ、

そこに賦活剤として炭酸カリウム 1.5 g を加えた。

②600°Cに設定した電気炉に入れ、20 分間加熱した。

③加熱後、ろつぼから取り出した物質の量を計測し、1.5 g 量り取り、8 mg/L のメチレンブルー溶液に入れ、1 週間静置した。

④静置したメチレンブルー溶液を目視で観察した。

上記と同様に、ピスタチオ殻を用いて実験を行った。この方法で作製された物質を、以下“活性炭”と呼称する。

3-2. 試料の水分量と活性炭の性質の関係

3-1 と同様に実験を行った。試料はコーヒー殻やピスタチオ殻よりも水分量の多いキュウリのヘタを用いた。また、食品廃棄物における水分量の多様性を持たせるために、ニンジンのヘタと皮を用いた。

3-3. 作製した活性炭と市販品との透明度での比較

作製したコーヒー殻、ピスタチオ、キュウリのヘタの活性炭や市販の活性炭で吸着されたメチレンブルー溶液の 663 nm における吸光度を測定した。

3-4. 吸着速度の観察

漏斗に1番の濾紙をひき、0.5 gのコーヒー殻活性炭を漏斗の下部に詰め、そこに8 mg/Lのメチレンブルー溶液を滴下した。同様の実験を賦活剤に炭酸カリウムと炭酸カルシウムをそれぞれ使用したニンジンのヘタの活性炭でも行った。また、対照実験として1番の濾紙のみを漏斗にひき、8 mg/Lのメチレンブルー溶液を滴下した。

3-5. 油脂を含む活性炭がメチレンブルー溶液に及ぼす影響

3-1と同様の実験を、油脂を多く含むゴマを用いて行った。賦活剤として炭酸カリウムを使用したもの、賦活剤を使用しなかったものの二種類を用意した。また、上記の実験の結果より、コーヒー殻にサラダ油と、賦活剤として炭酸カリウムを使用したもの、ピスタチオ殻に賦活剤を使用しなかったものを用いて3-4と同様の実験を行った。

4. 結果

3-1 コーヒー殻から作製した活性炭(図1)はメチレンブルー溶液(図2)の濃度を低くし(図3)、ピスタチオ殻から作製した活性炭は溶液を褐色に変えた(図4)。

3-2 水分量の多いキュウリのヘタから作製した活性炭は、メチレンブルー溶液の濃度を低くした(図5)。しかし、今回作製したキュウリのヘタの活性炭も、外気に触れた状態で放置しておくと、活性炭が水分を保有した状態となった(図6)。また、ニンジンのヘタと皮から作製した活性炭は特に甚だしく水分を保有した状態となったために、実験には使用できなかった。

3-3 663 nmにおける吸光度を分光光度計で計測した値の表は以下(表1)の通りである。測定値が低いほど、より透明度が高い。

分光光度計での測定結果(表1)

投入した活性炭の原材料	測定値
メチレンブルー溶液 (5倍希釈)	0.444~0.456
コーヒー殻	0.030
ピスタチオ殻	0.148
キュウリのヘタ	0.053~0.054
市販の活性炭	0.002

3-4 コーヒー殻活性炭でも、ニンジンのヘタの活性炭の2種すべての実験において、滴下した直後から、目視では透明な液体が出てきた(図7)。その後、滴下を続けると、活性炭も同時に落ちてきた。また、滴下終了後(図8)の濾紙を観察すると、青色に少し染まっていた(図9)。また、濾紙のみを漏斗にひいてメチレンブルー溶液を滴下した場合にも濾紙は青く染まっていた。

3-5 賦活剤を使用しなかったゴマ活性炭はメチレンブルーの濃度を低くした。しかし、賦活剤に炭酸カリウムを用いたゴマ活性炭は、賦活剤を使用しなかったゴマ活性炭よりもメチレンブルー溶液の濃度を低くしなかった。また、コーヒー殻とサラダ油を用いた活性炭は、メチレンブルー溶液の濃度を低くしたが、透明ではなかった。ピスタチオ殻を用いた活性炭は、無色透明になったが黒い粒子が浮いていた。

分光光度計での測定結果(表2)

投入した活性炭の原材料	賦活剤の有無	測定値	色
ゴマ	有	0.218	薄青
ゴマ	無	0.008	無色
コーヒー殻・油	有	0.104	薄青
ピスタチオ	無	0.206	無色

3-6 走査型電子顕微鏡による観察結果

それぞれの活性炭の孔の様子を走査型電子顕微鏡で観察した。以下の図10~図14にその画像を示す。

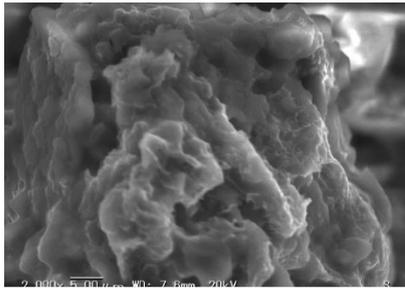


図 10 コーヒー殻活性炭(5/16 作製)

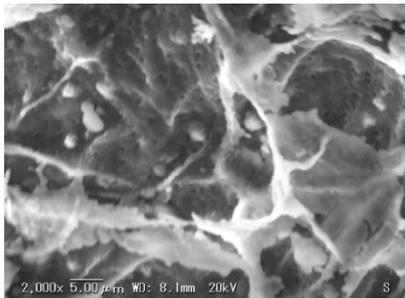


図 11 ピスタチオ殻活性炭

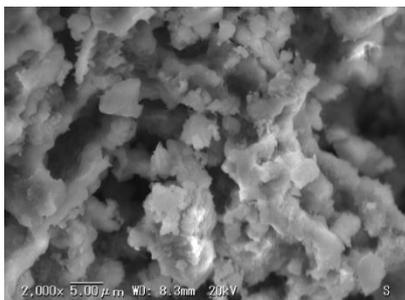


図 12 ニンジンのへた活性炭
(賦活剤:炭酸カリウム)

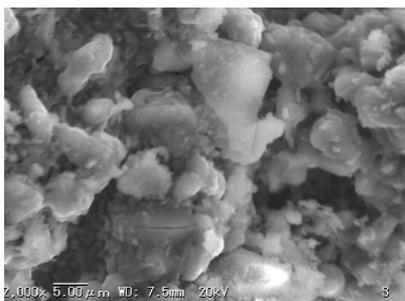


図 13 ニンジンのへた活性炭
(賦活剤:なし)

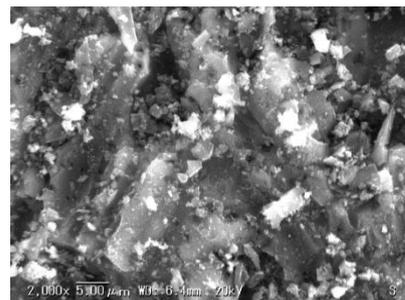


図 14 市販の活性炭

5. 考察

3-1 作製したコーヒー殻活性炭は目視では十分にメチレンブルーを吸着したため、従来の活性炭と同様の効果を持つといえる。一方ピスタチオ殻はメチレンブルー溶液を褐色に変化させたことから、浄化作用以外の作用が働いたことがわかる。コーヒー殻には含まれず、ピスタチオ殻に含まれる成分として油脂が挙げられるため油脂が活性炭の働きとは異なる作用を働かせた要因であると考えられる。3-4 で油脂との関係を調べる。

3-2 作製したキュウリのへた活性炭も同様に目視では十分にメチレンブルーを吸着したため、3-1 で作製したコーヒー殻活性炭と同様の効果を持つといえる。これにより、水分含有量の多い物質を試料に用いても、活性炭と同様の働きを持つことがわかる。また、水分を保有していたピスタチオ殻活性炭に白い粉末が付着していた。これを炎色反応や pH で調べたところ炭酸カリウムであると判明した。粉末状態を保っているコーヒー殻活性炭には白い粉末は付着していなかったため、活性炭が水分を保有した状態になる原因は賦活剤として使用した炭酸カリウムの余分が潮解性を示したためと考えられる。

3-3 分光光度計によって得られた数値から、今回作製した活性炭はメチレンブルーを吸着したということがわかる。しかし、市販のヤシ殻活性炭のほうがより数値が低かったことから、市販のヤシ殻活性炭は今回作製した活性炭よりメチレンブルーを吸着する能力は高いといえる。

3-4 活性炭が物質を吸着する速度は時間がかかると思われていたが、実際にはメチレンブルーが濾紙を通る間に、活性炭がメチレンブルーを吸着したと考えられる。また、活性炭が落下した原因は、活性炭とメチレンブルー溶液の重みによって濾紙が破れてしまったことだと考えられる。また、濾紙が青色に染まった原因は、濾紙がメチレンブルーの色素を通さなかったことだと考えられる。3-

4 のコーヒー殻活性炭を用いた実験で濾紙がメチレンブルーを吸着したことから、透明な液体が出てきたのは濾紙のみの作用によるものであるという仮説が立てられた。しかし、濾紙のみを漏斗にひいてメチレンブルー溶液を滴下した時、活性炭を通して滴下した時よりも濃い液体が出てきたことから、濾紙だけではなく活性炭もメチレンブルーを吸着したとわかる。

3-5 賦活剤の有無によって吸着能力に差が出たことから、賦活剤である炭酸カリウムにその原因があると考えられる。また、低い吸着能力を示した活性炭は、3-1 の結果からも鑑みて炭酸カリウムを賦活剤として用いた油脂を原料に含む活性炭である。ここから考えられることとして、油脂と炭酸カリウムにより鹸化反応が起こったと考えられる。鹸化により、活性炭のメチレンブルー溶液の吸着能力を低下させたと考えられる。黒い粒子は濾紙を通り抜けた活性炭であり、それによって分光光度計での計測値は高くなったと考えられる。

3-6 コーヒー以外の活性炭の画像では、チャージアップしていることが分かる。チャージアップとは顕微鏡の観察時に伝導性を持たない部分が白く光る現象であるため、白い部分は活性炭の表面に残留した炭酸カリウムであると考えられる。

6. まとめと今後の課題

研究から、市販品に比べ性能は劣るが、食品廃棄物から活性炭を作ることができるといえる。しかし、物質により必要とする賦活剤の量が違うために、多種の物質の混合物である食品廃棄物に適する賦活剤の量を一概に同定することはできない。また、食品廃棄物自体に含まれる油脂によって鹸化が起こる可能性もあり、すべての食品廃棄物で水質浄化作用をもつ活性炭を作れるとは限らず、食品廃棄物で常に一定の質の活性炭を作る場合には塩基の賦活剤は適さないと考えられる。

また、食品廃棄物で作製した活性炭で河川の水の浄化を行い、COD, BOD の値を下げるこ

とできれば、食品廃棄物の新たな利用法として提示できると考える。

7. 謝辞

本研究を進めるにあたり、京都府立大学生命環境科学研究科の細矢憲教授、及び TA の皆様にご協力を賜りました。感謝申し上げます。

8. 参考文献

安部郁夫, 2006, 活性炭の製造方法, Volume 2006 Issue 225 p373
東京理科大学 I 部化学研究部, 2017, おからの薬品賦活法による活性炭の作製, 2017 年度春輪講書
長崎大学工学部, 2018.3.30, トウモロコシの芯から炭を作り, 水の浄化に役立つ吸着作用を調べよう, <https://www.mirai-kougaku.jp/laboratory/pages/180323.php>, 2019.1017

8. 添付資料



図1 コーヒー粕活性炭

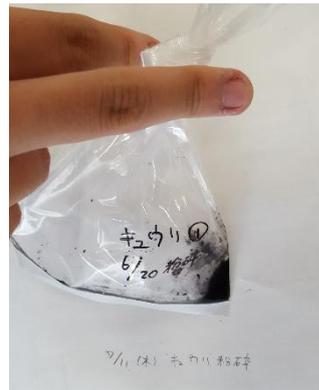


図6 キュウリの
へタ活性炭が水分
を保有した状態



図7 吸着速度
の測定中



図2
メチレンブルー
溶液 8mg/L



図3 コーヒー粕活
性炭 吸着・濾過後



図8左 メチレンブルー溶液 8 mg/L
中央 ニンジンのへタ活性炭
(賦活剤：炭酸カルシウム)吸着速度の測定後
右 メチレンブルー溶液を濾過後



図4 ピスタ
チオ殻活性炭
吸着・濾過後



図5 キュウ
リのへタ活
性炭 吸着・濾
過後

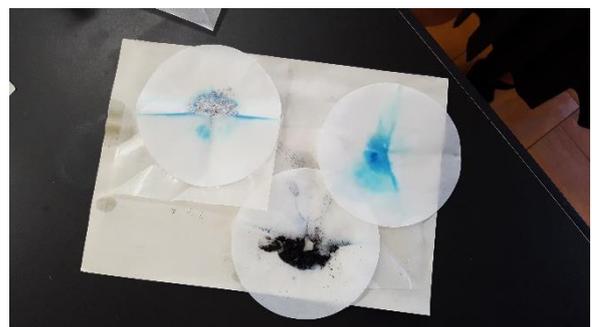


図9 濾紙の様子
左 ニンジンのへタ活性炭
(賦活剤：炭酸カルシウム)
中央 コーヒー粕活性炭
右 メチレンブルー溶液

乾燥率から見る水と紙の凹凸の関係

～ 雨で濡れた教科書を生き返らせよう ～

井邊凜 河部美央 竹村向日葵

要旨

私たちは雨で教科書が濡れてしまっしわになって使いにくくなってしまったという経験から紙が水に濡れても乾いたとき、なるべく皺が少なく使用できる方法を探るために紙の上におもりをのせて乾かすという実験を行った。同時に異なる圧力を加えたときの紙の乾燥率などにも注目した。結果、どの圧力下でも乾燥率は大きく変わらず、150 gのおもりをのせて乾かした紙が最も書きづらく 70 g をのせた紙が最も皺が少ないという結果を得た。

1. はじめに

予備実験として中質紙、上質紙、コート紙の三種類の紙を 5 秒間水に浸した後、一週間人工気象装置の中に静置した。その後 1, 2, 3, 7 日目に重さと厚さを測ると、日が経つにつれて乾燥率が高くなることが分かった。7 日目にシャープペンシルとボールペンでその紙に書くと中質紙は、皺はできていなかったが書きづらく、上質紙とコート紙は、皺はできているが通常通り書けた。書きづらかった理由としては紙の含水量が多いためだと考えられる。以上のことを踏まえて、私たちは濡れた紙が乾燥した際に皺ができない方法を探すため、紙にかけるおもりの重さを変えて乾燥率の変化や皺の数、書きやすさを調べる実験を行った。

おもりが軽いと乾燥率は高いが、紙にかかる圧力が低く、皺ができる。一方、おもりが重いと紙にかかる圧力が高く、皺はできないが乾燥率は低い。よって、通常通り書けるくらい乾燥率が高く、皺ができない重さがある、という仮説を立てた。

2. 材料・研究方法

2-1. 研究試料

上質紙を 5 cm 角に切ったもの 30 枚を 6 セット、純水、12 枚の亚克力板、マイクロメーター、おもり 20 g, 50 g, 100 g, 電子天秤を用意した。

2-2. 研究方法

(1) 5 cm 角に切った上質紙 30 枚を二枚の亚克力板に挟んだものを 3 セット用意する(図 1)。

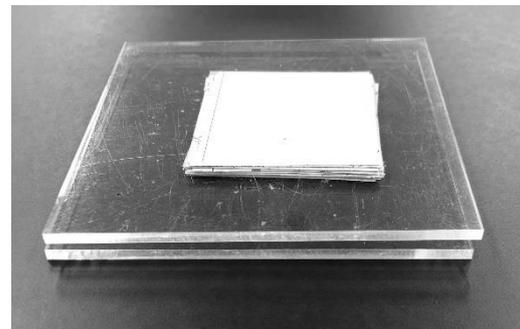


図 1. 操作(1)

(2) それぞれを電子天秤に乗せ、質量を測定し、それぞれに 50 g, 70 g, 100 g のおもりを載せてマイクロメーターで亚克力板の上面と下面の厚さを量った(図 2, 3)。

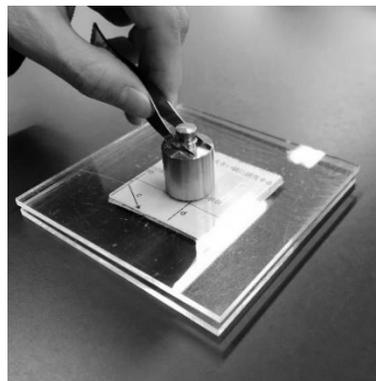


図 2. 操作(2)

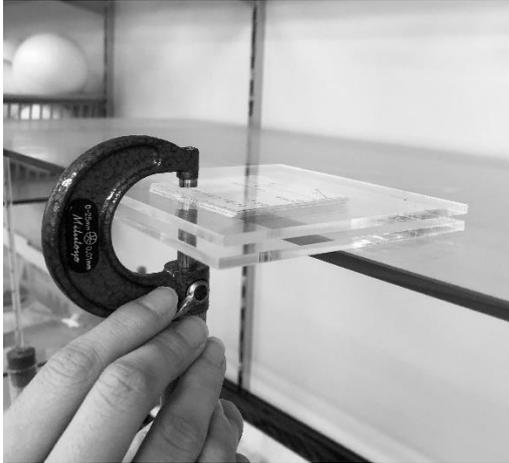


図 3. 操作(2)

(3)挟んでいた紙を取り出し純水に 3 間浸しよく水を切って(図 4)再び二枚の亚克力板に挟み、同様に重さと厚さを量って記録した。



図 4. 操作(3)

(4)比較的直射日光の当たらない湿度が安定した場所にそれぞれに 50 g, 70 g, 100 g のおもりを載せて 8 日間置いておいた。

その 8 日間のうちの 1, 2, 3, 4, 7, 8 日目にそれぞれを電子天秤に乗せ、質量を測定し、それぞれにもう一度 50 g, 70 g, 100 g, のおもりを載せてマイクロメーターで亚克力板の上面と下面の厚さを測った。これらの記録から、下記の式のようにして乾燥率を求めた。

紙の乾燥率 =

$$\frac{\text{濡らした後の紙の質量} - \text{その日の紙の質量}}{\text{濡らした後の紙の質量} - \text{濡らす前の紙の質量}} \times 100$$

(5)追加実験として、上記と同様におもりの重さだけを、0 g, 20 g, 150 g に変えて 1, 2, 3, 4, 8 日目に重さと厚さを量った。

3. 結果

結果で得られたデータから、0 g, 20 g, 50 g, 70 g, 100 g, 150 g の重りをのせる場合の日数と乾燥率の関係を表すグラフを一つにまとめた。そのグラフからどんな重さを加えた時も、乾燥率は同じ割合で増えることが分かった(図 5)。また同様に日数と吸水後とその日の厚さの差の変化を表すグラフから 2, 3 日目に厚さは増え、さらに日が経つにつれて厚さは減っていった(図 6)。実験後二週間ほど重りをのせず、亚克力板にも挟まらず放置していたそれぞれの紙を肉眼で観察したところ 70 g, 150 g の重りをのせた紙が、他のおもりをのせた紙よりもうねりが少なく厚さが薄いと思われた(写真 1~6 参照)。またその紙にシャープペンシルとボールペンで実際に書いてみたところ 150 g の重りをのせた紙だけが書きにくくそれ以外は通常通り書けた。以上から、70 g のおもりをのせた時が最も皺が少なく、書きやすかった。

追記として、実験中の温度と湿度はそれぞれおよそ 15°C, 89%であった。また、実験で紙の上に乗せた亚克力板の質量は平均で 35.84 g であった。

4. 考察

私たちは実験を始める前、載せるおもりが重ければ重いほど厚さが薄くなり、水が出ていく表面積が減るので、乾燥率も低くなるという仮説を立てていたが、実際はおもりの質量に関係なく乾燥率の変化は一定であった。

厚さが 2, 3 日目にかけて増えるのは、濡らした紙の中の水や、切りきれていなかった水の表面張力が、紙が乾いたことによって弱くなっていったか

らか、または皺ができたからではないかと考えられる。また、その後厚さが減ったのは水が蒸発し、紙の含水量が減ったためだと考えられる。またおもりの質量と厚さには関係が見られなかった。

乾燥率とおもりの質量、紙の厚さとおもりの質量に相関関係が見られなかったのは、おもりの質量が少なかったためだと考えられる。そのため、70 gのおもりのときがなぜ最も皺が少なく書きやすかったのか分からなかった。

5. まとめと今後の課題

実験と考察から 70 g のおもりを加えたとき最も皺が少なく書きやすかった。今回の実験で使用したおもりよりさらに重く均等に重さがかかる物体(図鑑など)をのせて乾燥させたら皺の数や乾燥率はどう変化するかを調べる。また皺を一切作らずに乾燥させる方法を探し出すこと。ドライヤーや冷凍庫を使用して紙を乾かし皺のでき方を調べる。

6. 参考文献

静岡県立科学技術高等学校 自然科学部 2年
佐藤良亮 法月秀斗 曾根拓巳 青藤郁哉,
2020.1.16, 水が紙に及ぼす影響,
<https://gakusyu.shizuoka-c.ed.jp/science/ronnbunshu/h27/153161.pdf>

8. 添付資料

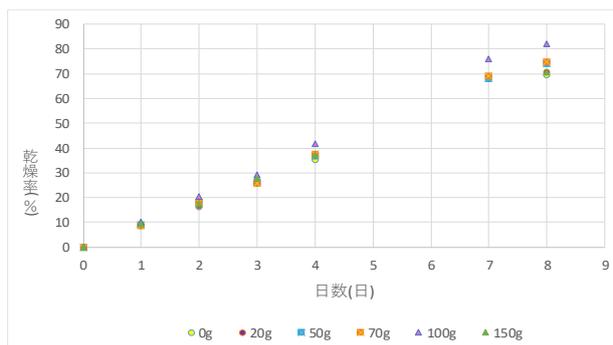


図 5. 日数と乾燥率の関係

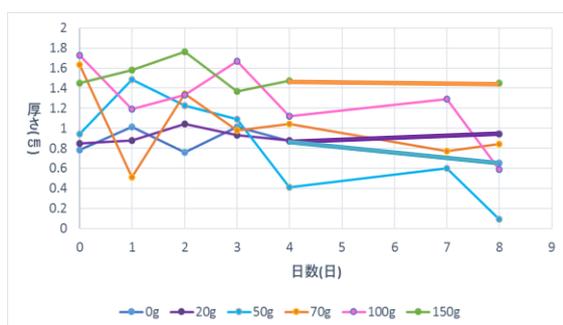


図 6. 日数と紙の厚さの関係



写真 3. 50 g のおもりを載せて乾かしたもの



写真 4. 70 g のおもりを載せて乾かしたもの



写真 5. 100 g のおもりを載せて乾かしたもの



写真 1. 0 g のおもりを載せて乾かしたもの



写真 6. 150 g のおもりを載せて乾かしたもの



写真 2. 20 g のおもりを載せて乾かしていたもの

野菜から抽出したサポニンの定量

石本絢音、後愛唯、江川真由香、水谷季花子

要旨

本研究では、野菜から抽出したサポニンの定量を目的として実験を行った。野菜からサポニンを抽出して水と油と混合し、水を蒸発させることでサポニンと親和した油を定量し、野菜から抽出したサポニンにおける結果とサポニン試薬における結果を比較することにより、野菜から抽出したサポニンを定量しようと試みた。結果、サポニンの界面活性剤の働きは確認できたが、定量方法については検討の余地が残った。

1. はじめに

サポニン(図 1)とは、親水性と親油性を持ち、水に混ぜると溶解し、振り混ぜると石鹸のように泡が立つなどの界面活性剤の働きを示す物質である。サポニンの洗浄能力についての研究(岩井, 2018)において、サポニンを多く含む、ニンジンとダイズを組み合わせた抽出液の界面活性剤の働きが強いと示されている。

予備実験として、サポニンを含む様々な野菜を一日水に浸して取り出した抽出液で、オレイン酸とエタノールから作製した皮脂汚れを用いて汚染した布を洗浄した。抽出液のほうが汚れを落とすと予想していたが、水洗いととの差があまり見られなかった。これは、抽出液に含まれるサポニンの質量がごくわずかであったためだと考えた。

このことと予備実験の結果を受けて、本研究では簡易的な方法でサポニンの定量を行うことを目的とした。サポニン試薬と界面活性作用を比較することで、定量が可能であり、より多くの野菜から抽出したほうが含まれるサポニンの質量も多くなり、それに伴い、界面活性剤の働きも高くなると仮説を立てた。

サポニンの質量とサポニンが親和する油の質量が比例関係にあると考えたため、本実験ではサポニンが親和する油の質量を調べることでサポニンを定量することを試みた。

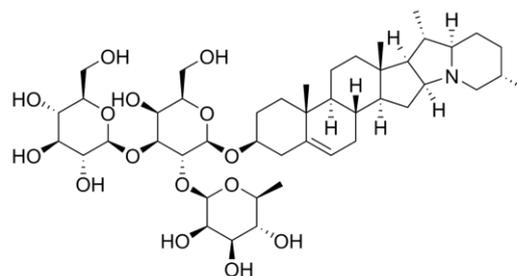


図 1. サポニンの構造式(※1)

2. 研究試料

サポニンを多く含む野菜であり(※2)、サポニンの界面活性剤の働きが強い(岩井, 2018)組み合わせである、ニンジンと乾燥ダイズ、そして、対照実験のため、サポニン試薬(ナカライテスク)を使用した。野菜からのサポニンの溶媒抽出時には、サポニン類は極性溶媒に溶けやすいため(※3)、エタノールを使用した。

3. 実験 1

3-1. 研究方法

「①ニンジン 100 g+ダイズ 100 g」, 「②ニンジン 50 g+ダイズ 50 g」, 「③サポニン試薬 1.000 g」について扱った。

まず①, ②について、1 cm 角に切ったニンジンと砕いたダイズをエタノール 200 mL に一日つけ

た後、野菜を取り除き、ウォーターバスを用いて得られた抽出液を 80 °C で湯煎し、エタノールを蒸発させ質量を量った。(ここで残ったものを「抽出物」とする。)

次に①, ②の抽出物と③について、油 25 mL と水 50 mL を分液ろうとに入れて振り、しばらく静置し二層に分離した後、油を取り出し、水を蒸発させ、質量を量り、比較した。(ここで残ったものを「抽出物+油」とする。)

3-2. 結果

表 1. 研究方法 1 の結果

	① 100 g	② 50 g	③ 試薬
抽出物+油	5.126 g	2.131 g	1.320 g
抽出物	6.755 g	2.805 g	1.000 g
サポニンと親和した油	-1.624 g	-0.624 g	0.320 g

表 1 より、100 g と 50 g において、「サポニンと親和した油」の数値が負の値になった。

写真①, ②, ③, ④と目視より、水と油が混合されていることが確認された。

3-3. 考察

油が蒸発して「抽出物+油」の数値が減ったため、また、サポニンにエタノールが乳化されていて「抽出物」の数値が増したため、100 g と 50 g で「サポニンと親和した油」の数値が負の値になったと考えられる。

サポニン試薬はもちろん、野菜から抽出したサポニンも界面活性剤の働きがあることは分かったが、予想と反してサポニンと親和した油の質量が負の値になってしまったため、サポニンの定量ができなかった。

4. 実験 2

4-1. 実験方法

実験 1 同様、「①ニンジン 100 g + ダイズ 100 g」, 「②ニンジン 50 g + ダイズ 50 g」, 「③サポニン試薬 1.0 g」について扱った。

まず①, ②について、ニンジンとダイズをミキサーで砕き、エタノール 200 mL に一日つけた後、野菜を取り除き、エタノールをエバポレーターで 50~60°C の温度で湯煎し蒸発させ(写真⑤), 減圧化で乾燥させ(写真⑥), 残った抽出物の質量を量った。(ここで残ったものを「抽出物」とする。)

次に①, ②, ③について、油 4.0 mL と水 50 mL を分液ろうとに入れて振り、しばらく静置し二層に分離した(写真⑦, ⑧)後、油を取り出し(①), 水を蒸発させ、質量を量り、比較した。(ここで残ったものを「抽出物+油」とする。)

また、「含まれるサポニン」の数値は「サポニンと親和した油」の数値を、サポニン試薬に含まれるサポニン量 1.000 g を基準として比例計算したものである。

4-2. 結果

表 2. 研究方法 2 の結果

	① 100 g	② 50 g	③ 試薬
抽出物+油	5.772 g	2.365 g	1.393 g
抽出物	7.575 g	2.261 g	1.000 g
サポニンと親和した油	-1.803 g	0.104 g	0.393 g
含まれるサポニン		0.265 g (計算値)	1.000 g

表 2 より、100 g において、「サポニンと親和した油」の数値が負の値になった。

表 2 より、50 g < サポニン試薬の順に油の質量が多いことがわかる。

4-3. 考察

①で取り出した油の中にサポニンが含まれており、「抽出物+油」の数値が減ったと考えられる。

50 g<サポニン試薬の順に含まれるサポニンの質量が多いとわかる。

ここで、最初に分液ろうとうに入れた油の質量から①で取り出した油の質量を引くことでもサポニンと親和した油の質量が求めることができるのではないかと考えた。

表 3. ①で取り出した油の質量から求めた結果

	① 100 g	② 50 g	③ 試薬
油 4 mL の質量	3.507 g	3.507 g	3.507 g
①で取り 出した 油	2.508 g	2.851 g	2.494 g
サポニン と親和し た油	0.999 g	0.656 g	1.013 g
含まれる サポニン	0.986 g (計算値)	0.648 g (計算値)	1.000 g

表 3 より、50 g<100 g<サポニン試薬の順にサポニンと親和した油の質量、含まれるサポニンの質量が多いことがわかる。

5. まとめと今後の課題

実験より、50 g<100 g<サポニン試薬の順に含まれるサポニンの質量が多いことがわかる。

だが、正確なサポニンの定量はできなかった。サポニンを含む野菜を多く使うほど親和する油の量が増える。抽出方法について、油を除去する際、手動のため完全に油を取り出しきれなかった。私たちが行った方法ではサポニンの質量を定量することは難しいと考える。

サポニンの定量について、善後策としては、サポニンは糖と結合している配糖体なので、エタノールとの抽出液と希硫酸を混ぜて煮ると糖が切れて水層に逃げる。その後再び抽出することで、より

純粋なサポニンを得ることができると考える。

野菜に含まれるサポニンを定量し、そのサポニンの皮脂汚れに対する洗浄力を評価することができれば、洗剤の作製につながると考える。

6. 謝辞

本研究を進めるにあたり、試料のエバポレーターによる蒸発と、減圧下での乾燥をする際に、京都工芸繊維大学の足立馨先生をはじめとする多くの方々に大変お世話になりました。心より感謝いたします。

7. 参考文献

日下部信幸, 鷺津かの子, 2016, 天然サポニンの起泡性と人口汚染布の洗浄効果

石けん百貨株式会社, 2014, 石鹸百科
<https://www.live-science.com/honkan/soap/soaphistory/soaphistory04.html>, 2019.4.25.

(※1) 2018, サポニン 「ウィキペディア (Wikipedia) : フリー百科事典」
<https://ja.wikipedia.org>, 2020.1.23

(※2) Corollia[カローリア], 2017, サポニンを多く含む食品とおすすめサプリ
<https://corollia.com/saponin-supplement-food/>, 2020.1.23.

(※3) 一般社団法人 日本植物生理学会, 2006, 植物 Q&A https://jspp.org/hiroba/q_and_a/detail.html?id=451, 2020.1.23.

8. 添付資料



写真①
抽出液(混ぜる前)



写真②
抽出液(混ぜた後)



写真⑥ 減圧下での乾燥



写真③
サポニン試薬
(混ぜる前)



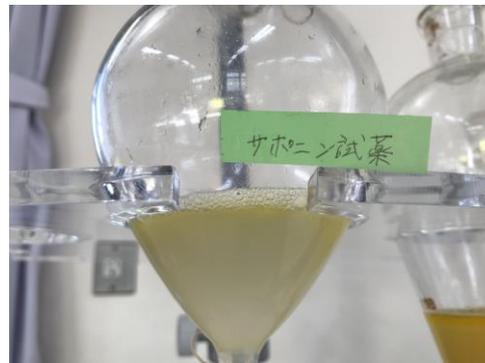
写真④
サポニン試薬
(混ぜた後)



写真⑦ 分液ろうとで分離した結果
(抽出液)



写真⑤ エバポレーターによる蒸発



写真⑧ 分液ろうとで分離した結果

節足動物は危険な匂いを避けるか

～ ダンゴムシを用いた対照実験 ～

石井友樹 後藤拓磨 塩島健吾

要旨

節足動物の多くは感染症等を恐れて仲間死骸の匂いを忌避するという。この匂いを用い、環境に与える害の少ない虫除けや農薬を作ることが将来的にはできるかもしれない。そこで、ダンゴムシを用いて、条件を変えながら他個体の死骸の匂いに対してどのような反応を見せるか観察実験を行なった。ダンゴムシの死骸への反応は個体差がかなり大きかったもののダンゴムシが死骸に関心を示すことが示唆された。

1. はじめに

ゴキブリやアリ、イモムシ、シロアリ、ワラジムシ、ダンゴムシ等の生物は、ゴキブリの死骸を潰して得られる体液を忌避する傾向があり、昆虫に分類されないワラジムシ目もこの体液に含まれる成分を放出するようだ (Rollo, 2009)。しかし、これについては未だ十分な研究がなされておらず、日常生活への展用にもほど遠いと言える。本実験では、安定した捕集が容易であるという観点からオカダンゴムシ(以下ダンゴムシとする)を採用し、様々な条件下でダンゴムシの他個体の死骸への行動的反応を観察することにした。

2. 材料・研究方法

2-1. 研究試料

表 1 研究試料

実験	器具		誘引または忌避する試料				
	T 字路		飼育ケース	死骸		スルメ	その他
	I	II		a	b		
1	○	○	×	○	×	×	○
2	×	×	○	○	×	○	×
3	×	×	○	×	○	×	×

上の表 1 に実験 1～3 の概要を示す。

死骸 a は生きたダンゴムシをすりつぶしたものを、死骸 b は乾燥させたダンゴムシとダンゴムシを水に沈めた後に一日土の上に放置したものをそれぞれ指す。また「その他」とはすりつぶしたトマトとローズマリーのことである。

実験 1 では 2 種類の T 字路 (I, II) を (図 1, 図 2)、実験 2, 3 ではともに縦 10×横 15×高さ 10 (cm) でプラスチック製の飼育ケースを使用した。T 字路 I (縦 11.5 cm×横 25 cm×幅 3 cm) の出発地点には円形のスペース(半径 2.5 cm)を作り、ダンゴムシがしばらくそこを動き回ったのち路に入っていくようにした(図 1)。T 字路 II は T 字路(縦 7.5cm 横 13.5 幅 1.5 cm)の二股の先が再び二股(左右ともに 13 cm)に分かれている(図 2)。また T 字路 II についても I と同様に出発地点に円形のスペース(同サイズ)を作った。T 字路 I, II ともに厚紙で作った壁の高さは 1.5cm とした。T 字路 I, II は乾燥後匂いを発さないみずのりで厚紙をはり合わせて作った。

実験 3 で使用するダンゴムシは空腹になるように前日から空の容器に入れておいた。

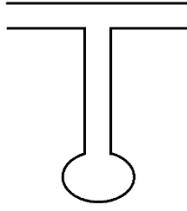


図1 T字路 I

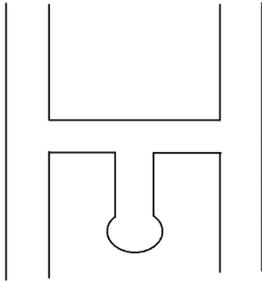


図2 T字路 II

2-2. 研究方法

飼育ケースや T 字路に試料の匂いがしみこまないように試料はアルミ箔の下に敷いた。

実験 1 ではトマト、ローズマリーについて各 10 回、死骸について 50 回の観察を行った。T 字路の出発地点にダンゴムシを入れて、ダンゴムシが T 字路の左右どちらに進んだか、また試料に対してどのような反応を示したかを観察した。

実験 2 と 3 では、下の表 2 のように試料の種類と設置場所を変えながら行動観察を行った。ダンゴムシは試料の設置と同時に入れた。

表 2 実験 2, 3 の条件

実験	試料	試料の位置	観察時間 [min]	観察回数
2	死骸	中央	8	1
	スルメ	中央	5	1
	なし	中央	5	1
3	腐敗	中央	3	2
	乾燥	中央	3	2
	乾燥*	中央	3	2

腐敗	端	3	1
乾燥	端	7	1
乾燥*	端	3	1

腐敗と示している試料は水死させた後、数日間土の上に置いて腐敗を進行させた試料である。このような試料を用意したのは、死骸が発する匂いが時間経過とともに強くなる、あるいは変化するため(田中, 2015)、このような変化がダンゴムシの行動に影響を与えるかもしれないと考えたからである。乾燥と示している試料は乾燥した飼育容器内で数日間放置して死んだ個体の死骸である。乾燥*は乾燥した死骸に水を含ませた試料である。

3. 結果

下の表 3 に実験 1 の観察結果を示す。

表3 試料へのダンゴムシの反応の観察結果

試料	死骸	トマト	ローズマリー
実験 1	△	×	×

△はダンゴムシが試料に近づいたり離れたりしたが一定の反応が認められなかったこと、×は試料がない実験と差が認められなかったことを表す。

実験 1 ではどの試料を使用した場合にも T 字路の右に行くダンゴムシと左に行くダンゴムシの数に差は見られなかった。また、トマトやローズマリーに寄って行ったり、遭遇した際に引き返したりするような反応を示した個体はいなかった。しかし、死骸への反応は個体によってかなりの差異が見られた。反応を示さない個体、死骸を避けるような動きを見せる個体、死骸にのぼりだす個体もいた。

実験 2 では、ダンゴムシは飼料の種類、有無に関わらず試料のある中央に寄って行くことがなく、観察時間中にケースの端に集まっているのがほとんどであった。

実験 3 で腐敗死骸を試料に用いた場合、試料を中央に置いた際には、ダンゴムシは試料への反応を示さず、ケースの端に沿って一方向に回り続

けた。試料を端に置いた際には、ダンゴムシはケースの端に沿って移動し、最初の遭遇では触覚で確かめるような行動を見せたが、すぐ離れ、その後は通り過ぎるだけで反応を示さなかった。

乾燥した死骸の場合、試料を中央に置いた際にも端に置いた際にも、試料に対する反応は観察できなかった。死骸に水を含ませた場合でも同様の結果が見られた。

4. 考察

実験 1 ではダンゴムシはトマトやローズマリーに対して反応を示さなかったが、死骸には個体ごとに差異はあったものの何らかの反応を示すものが多かったことから、死骸に対して何らかの関心を持っていると考えられる。

飼育ケースを用いた実験 2 で行った試料なしの観察から、ダンゴムシは飼育ケースの端に滞在することを好むことが示唆される。このことから、試料がある場合でもダンゴムシがケースの端に集まっていたのは、中央の試料を忌避したためではないと考えられる。

実験 1 と 2 では、個体の内的な状態(空腹状態等)を考慮せずに実験を行った。しかし、実験 1 で個体ごとに死骸への反応が大きく異なることや、実験 2 で、ダンゴムシの好物であるスルメを試料に用いた際にも、ダンゴムシが反応を示さなかったのは、これらの実験の結果に個体の状態が影響したためと考えられる。つまり、空腹な個体であれば、死骸に引き寄せられる可能性がある。

ところが、続いて行った実験 3 では空腹状態の個体のみを用いたが、死体を食べたり食べようとしていたりする個体は見られなかったので、少なくとも同種の死体に誘引効果はないと考えられる。

したがって、ダンゴムシは同種他個体の死骸を食べたり積極的に近づいたりすることはないが、反対に積極的に忌避するかどうかは、ダンゴムシが端を好むという性質のために、本実験では確かめることができなかった。

また、実験 3 において腐敗の進行の程度の違いによる反応の違いが確認できなかったことからダンゴムシは死骸に付随する微生物や、それらの分解作用が働く過程で発せられる臭いには、あまり影響を受けないと考えられる。

5. まとめと今後の課題

ダンゴムシが他個体の死骸になんらかの関心を持っていると考える。ただ得られた結果からはそれが誘惑によるものではないが、恐怖による忌避を示すものなのかははっきりしなかった。この点について今後の研究で明らかにする必要がある。さらに蚊や青虫等についても同様に実験を進めることにより、死の匂いを利用した虫除けや農薬が実現するかもしれない。また今回の実験では同種他個体の死骸に対する反応しか調べておらず、今後異種間ではどのような反応が見られるのか調べる必要がある。死の匂いは不飽和脂肪酸によるものであるという研究結果(Roll, 2009)もあるため、不飽和脂肪酸を用いて実験するのも有効かもしれない。

6. 参考文献

- David Roll 2009『Evolutionary Biology』
<https://wired.jp/2009/09/14/%e3%81%a9%e3%81%ae%e8%99%ab%e3%81%ab%e3%82%82%e5%bc%b7%e5%8a%9b%e3%81%aa%e5%8a%b9%e6%9e%9c%ef%bc%9a%e4%b8%87%e8%83%bd%e9%98%b2%e8%99%ab%e5%89%a4%e3%81%af%e3%80%8c%e6%ad%bb%e3%81%ae%e5%8c%82%e3%81%84/>, 2019.3.16
- 田中翔之助 2015, 8, 22 死体にウジ虫が湧くように見える理由と孤独死部屋の対処方法, [mhttps://last-cleaning.com/body-maggot-1681](https://last-cleaning.com/body-maggot-1681), 2019.3.16

納豆で水中ゴミを集めよう！

～ Let's collect the garbage in the water with NATTO!～

今西美結 栗田青依 小山七々子 山本果歩

要旨

本研究は、環境問題となっているゴミのポイ捨てに焦点をあてた。特に水中に漂うゴミを凝集したいと考えた。さらに環境になるべく負荷の少ない方法で行うために納豆菌がつくるポリグルタミン酸を用いて、効率の良い水質浄化方法を研究した。ゴミの種類によって効果は異なったが、我々の方法では、生物学的なゴミが凝集されやすいという結果が得られた。

1. はじめに

先行研究より納豆菌を利用した水質浄化システムがあることを知り、さらに調べると納豆菌がつくるポリグルタミン酸(以下PGA)が水質浄化作用を持つことがわかった(株式会社エム・アール・オー, 2019)。

PGAは納豆の糸の成分で、凝集力に優れている。このPGAは γ -ポリグルタミン酸という直鎖状の高分子化合物で、多数のグルタミン酸がペプチド結合でつながっており、この構造が納豆の“ねばねば”を生み出している。このときふつう、一般のタンパク質では同じ不斉炭素原子についたアミノ基とカルボキシ基(α 位)の間でペプチド結合しているのに対し、納豆の γ -ポリグルタミン酸では図1のようにアミノ基が γ -位のカルボキシ基とペプチド結合している。また、グルタミン酸として通常のL型のみではなく、D型のものも含まれている点で、非常にユニークな物質である。

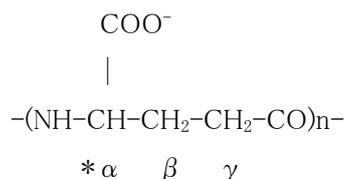


図1. 納豆の γ -ポリグルタミン酸の構造式

*が不斉炭素(α 位)

(柿井, 2016)

本研究では、以下の三種類の実験を行い、PGA抽出方法と凝集力、および凝集するごみの種類について検討した。

PGAを効率良く得る条件を調べるため、抽出方法を変えることで抽出できるPGAの量に違いが出るのかを調べるため実験1を行った。その結果、攪拌回数を増やす方法で最も多くPGAを抽出できた。

実験2では、以降の実験で使用する水質浄化に適したPGAの粉末を決定するため、実験1で得た3種PGAの凝集力の違いを調べた。すりつぶすことで納豆の粘度が増し、藻をくっつけやすくなるのではないかと考えて実験を行ったところ、攪拌回数を増やしたPGAの粉末が最も素早く藻を凝集し、沈殿した。この結果から、実験3では、この方法で抽出したPGA粉末を使用した。

実験3では、様々なごみとPGAの凝集の相性を調べた。PGAは生物学的な成分なので化学物質は凝集できないのではないかと考えて、実験を行ったが、PGAによる凝集沈殿効果は確認できなかった。

2. 材料・研究方法

2-1. 研究材料

実験1

納豆, 水, エタノール(99%), ビーカー100 mL,

ガラス棒, シャーレ, 乳鉢, 乳棒, ガーゼ

実験 2

藻, 水, ビーカー, ガラス棒, 実験 1 で精製した PGA 粉末

実験 3

ペットボトル, 校庭の砂, 家庭菜園用の培養土, 紙, 水, ビーカー, ガラス棒, 実験 1(2)で精製した PGA 粉末

2-2. 研究方法

実験 1, 納豆からの PGA の抽出

下記の 3 つの方法で実験を行った。

- (1) 納豆 20 g をビーカーに入れ, ガラス棒で 50 回かき混ぜ, さらに水 30 mL を加えて, さらに 50 回混ぜた。混ぜたものをガーゼでこしながら絞った。絞ったものにエタノール 30 mL を加えて, 白い塊が出なくなるまでエタノールを追加したのち, 抽出した白い塊を自然乾燥させ, 完全に乾いたものを乳鉢と乳棒で粉末状にした(府立大手前高校, 2014)。
- (2) (1)の最初の工程の納豆をビーカーに入れた後にかき混ぜる回数を 600 回に増やした。
- (3) (1)の最初の工程の納豆を乳棒ですり潰しながらかき混ぜ, ペースト状にした。

実験 2, 水質浄化に適した PGA の検討

本校の生物実験室の水槽から採取した藻 1.0 g と水 60 mL をビーカーに入れて混ぜたものを 3 セット用意し, 実験 1 で精製した 3 種類の PGA 粉末をそれぞれ 0.25 g ずつ加えて観察した。

実験 3, 様々なゴミと PGA の相性の比較

- ① ペットボトルを 0.5 mm 角程度に切って, ゴミにみたてたもの
- ② ふるいにかけた校庭の砂
- ③ ふるいにかけた家庭菜園用の培養土

- ④ シュレッダーにかけられた紙をさらに細かく切ってゴミに見立てたもの

これらの 4 つのゴミをそれぞれ 1.0 g ずつと水 60 mL をビーカーに入れてかき混ぜた。その 4 種類のビーカーに, 実験 2 の(2)で生成した粉 0.25 g 加えて観察した。

3. 結果

納豆からの PGA 抽出(実験 1)の結果の概要を下の表 1 に示す。

表 1 生成した粉の重さ

方法	得られた PGA 粉末
1. 50 回かき混ぜる	0.25 g/半パック
2. 600 回かき混ぜる	0.62 g/1 パック
3. 豆をすりつぶす	0.60 g/L パック (0.30 g/半パック)

※1 パックで 0.60 g だったため, 1/2 パックだと 0.30 g だと考えた。

水質浄化に適した PGA 粉末の検討(実験 2)の結果の概要を下の表 2 に示す。

表 2 実験 2 の結果

方法	結果
1. 基本の方法	沈まなかった
2. 攪拌回数を増やす	沈んだ
3. 豆をすりつぶす	ゆっくりと沈んだ

様々なゴミと PGA の相性の比較(実験 3)の結果の概要を以下の①~④に示す。

- ① ペットボトルのゴミ
水と混ぜ合わせた時点でペットボトルのゴミが沈んだ。その後 PGA 粉末を入れても変化はなかった。
- ② 校庭の砂
①と同じく, PGA 粉末を入れる前に水と混ぜ合わせた時点で砂が沈んだ。PGA 粉末を入れても変化はなかった。
- ③ 家庭菜園用の培養土
②と同じ結果だった。

②と③の結果の違いが分かりづらかったので、PGA 粉末、実験試料、水が混ざった液体をろ過し、ろ液を観察した。PGA 粉末を加えていない実験試料と水だけの液体もろ過して比較したところ、PGA 粉末を加えたほうのろ液が黄ばんでいた。

④ 紙

PGA 粉末を入れる前に紙が水分を含み沈んだが PGA 粉末を入れると、底で紙と PGA 粉末が凝集している様子が確認できた。

4. 考察

実験 1 で、攪拌回数を増やすことで最も多くの PGA が抽出できた理由は、PGA が納豆のねばねば成分であることが関係していると考えられる。本研究以前に納豆は、攪拌回数が 50 回のものよりも、500 回のものの方が粘度は増加することが分かっている (TANITA, 2012)。したがって、実験 1②の方法では、多くかき混ぜたことで納豆の豆についている PGA を取り出せたため、最も多くの PGA を抽出出来たと考えられる。また、①と③の方法で抽出された PGA の量に大きな違いがないことから、すりつぶしても PGA の取り出しやすさは変わらないと考えられる。以上より、PGA は攪拌回数を増やすことで取り出しやすくなる物質であると考えられる。この実験の目標である PGA が取り出しやすくなる条件を決めることができた。

実験 1 の三種類の PGA 粉末はそれぞれ異なる色をしていたため、大豆など PGA 以外の不純物が含まれていると考えた。実験 2 で、実験 1①の PGA 粉末が凝集沈殿効果を示さなかったのは、攪拌回数が少なく、PGA 粉末中の PGA 量が少なかったからであると考えた。実験 1②の PGA 粉末が最も凝集沈殿効果を示したのは、攪拌回数が多く、PGA 粉末中の PGA 量が多かったからであると考えた。実験 1③の PGA 粉末が大きな凝集沈殿効果を示さなかったのは、豆をすりつぶしたことにより①②の PGA 粉末に比べて、不純物の割合が多く、PGA の割合が少なかったからであ

ると考えた。以上より、PGA 粉末中の PGA 量が多く、三種類の PGA 粉末の中で最も凝集沈殿効果を示した実験 1②の PGA 粉末が、以降の実験に最も適していると考えた。

実験 3 で、①のペットボトルのゴミが、PGA 粉末を入れる前に沈んだのは、ペット素材の密度 (1.38 g/cm^3) が水より大きいからである。したがって、ペットボトルの破片をどれだけ小さくしても水に浮くことはなく、PGA の効果で沈んだのかが目視で確認できない。実験 3②、③の砂の場合も同様である。④の紙は、植物の繊維などから作られているため、PGA と凝集している様子が見られた。②、③のろ液の色から、PGA の成分が水に溶けだしていると考えた。以上より、PGA は生物的なごみを凝集する効果はあるが、化学物質を凝集する効果は弱いと考えた。

5. まとめと今後の課題

今回の実験より、水質浄化に使える PGA の抽出方法を明らかにできた。また PGA がどんなゴミを凝集できるかは、ゴミの種類によって異なることが分かった。PGA には、凝集できるものとできないものがあると考えられる。

PGA による凝集剤は、海や川を汚染する要因ともなるマイクロプラスチックを凝集し、それを回収することで、水質浄化に繋がると期待されている。しかし、私たちが作ったものでは、どんなゴミを凝集できるのか分からないため、実用化にはその課題を解決する必要がある。また、納豆から抽出したために発生する粘り気や臭いも課題となるため、より精製度をあげる方法を検討する必要がある。

6. 参考文献

柿井一男, 納豆菌の“ねばねば”パワーで排水処理, 2016.9.25, <http://www.chem.utsunomiya-u.ac.jp/lab/mizunatto-index.html>, 2020.1.9.

株式会社エム・アール・オー, エコバイオ・ブロッ
ク (水質浄化), [https://www.m-r-
o.co.jp/index.php?page_id=98](https://www.m-r-o.co.jp/index.php?page_id=98),
2019.10.17.

TANITA, 2012.7.10, タニタの健康コラム,
[https://www.karadakarute.jp/tanita/
column/columndetail.do?columnId=
169](https://www.karadakarute.jp/tanita/
column/columndetail.do?columnId=
169), 2020.1.16.

府立大手前高校「納豆のねばねばで水質浄
化」, 2017.3.28, [https://otemae-
hs.ed.jp/ssh/dat/2014S5.pdf](https://otemae-
hs.ed.jp/ssh/dat/2014S5.pdf), 2019.
10.17.



写真3 実験3(左からろ過後の②のPGAあり・
なし, ③のあり・なし)

7. 添付資料



写真1 実験1の乾燥前の白い塊



写真2 実験2の結果(左から方法1, 2, 3)

ゼブラフィッシュの恐怖行動伝達

～ 彼らは視覚で恐怖を伝達しているのか ～

黒田 俊介 村上 逸紀 黒澤 幸誠

要旨

ゼブラフィッシュ *Danio rerio* が視覚による恐怖の伝達を行っているのか明らかにするため実験を行った。ゼブラフィッシュを1個体入れた水槽を準備し、そのゼブラフィッシュに平常時のゼブラフィッシュの映像と警報物質を投与し恐怖行動を示しているゼブラフィッシュの映像をそれぞれ5分ずつ見せ、その様子を観察して比較した。その結果、平常時のゼブラフィッシュの映像を見せた時潜行時間が減少し、ゼブラフィッシュは仲間の姿を視認した時に安心感を得ることがわかった。また、恐怖行動を示しているゼブラフィッシュの映像を見せた時、潜行時間が増加することが確認でき、視覚による恐怖の伝達を行っていることがわかった。

1. はじめに

恐怖は、身近の脅威(捕食者など)を知覚もしくは予期している状態で、一過性であり、恐怖の対象がなくなると速やかに消失する。実際の動物観察では、忌避すべき状況を直接予期させるような、具体的な手掛かりを与えた時に観察される生理・行動反応、また、忌避すべき状況との関連が明瞭ではない、漠然とした手掛かりを与えた時に現れる反応が恐怖の行動である(吉田, 2011)。

ゼブラフィッシュとは脊椎動物のモデル実験動物として比較的最近登場した魚であり、体長約5cmの小型熱帯魚である。この魚は飼育が容易、多産、世代交代期が短いなど実験に適した特徴を持っている。

ゼブラフィッシュには警報物質の存在が確認されている。警報物質は多くの魚種(特にコイ目やカラシン目を含む骨鰾上目)の表皮中のclub cell中であって、捕食者による攻撃などでこの細胞が壊れることにより環境水中に放出されると考えられている。警報物質は捕食者の存在を間接的に示し、これを受容した同種もしくは近縁種は生得的な防衛行動を示す。警報物質は種特異的な反応を引

き起こすが、ゼブラフィッシュの場合物を水底につけながら泳ぐ(本実験ではこれを潜行と呼称する)、フリーズする、密な群れを作るなどが含まれる(吉田, 2011)。

サイエンスⅡの先行研究で、ゼブラフィッシュを入れた2つの隣接した水槽を用意し、その片方に警報物質を投与して不安反応(恐怖行動)を誘発させ、他方の水槽内の個体の行動を観察し、投与前後の比較が行なわれた。その結果、不安反応(恐怖行動)である潜行やフリージングを示している時間の割合の増加が確認されている(生形ら, 2019)。

2. 材料・研究方法

2-1. 研究試料

本研究では、ゼブラフィッシュはもともと本校の生物実験室で飼育されていたものを使用した。オスとメスが混在しており、メスは性周期の関係から実験に影響を及ぼす可能性があるため、オスのみを使用した。エサはフレーク状のものを使用した。水槽は14.5 cm×24.0 cm×14.5 cmのものを使用した。タブレットはGoogle nexus シリー

ズの 11.0 cm×19.5 cm のものを使用した。警報物質は生形ら(2019)の実験で使用したものをを用いた。

2-2. 研究方法

①平常の状態および警報物質を投与されて恐怖行動を示している 8 個体の行動を撮影し、前半 5 分は平常、後半 5 分は恐怖行動の様子を収めた 10 分間の映像を作成した。

②1 個体のゼブラフィッシュが入った水槽を用意し、人の往来がない部屋で 30 分間静置した。

③ゼブラフィッシュを 5 分間観察した。

④ゼブラフィッシュにタブレットを用いて映像を見せ、その様子を観察した(図 1)。

この時、水槽の深さ 1/3 以深に 3 秒間以上とどまっている状態を「潜行」、1 秒間以上静止している状態を「フリージング」と定義した。

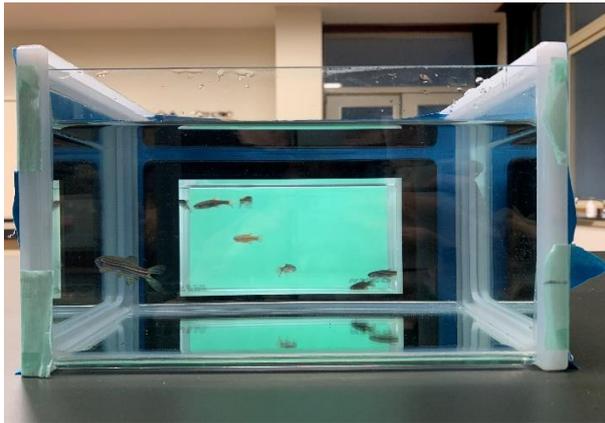


図 1

3. 結果

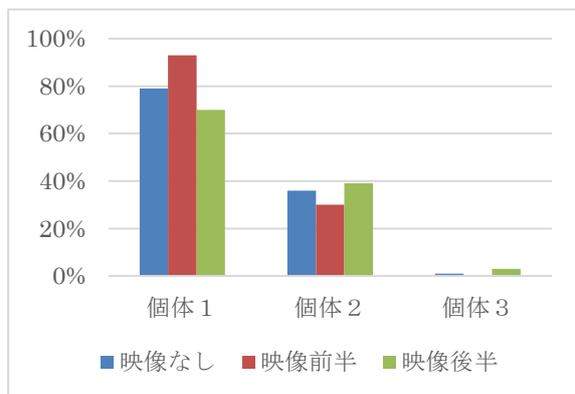


図 2-1

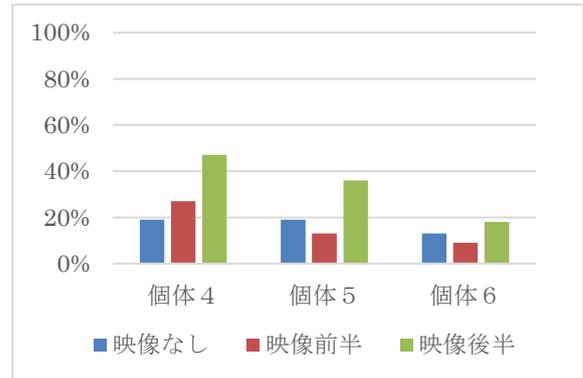


図 2-2

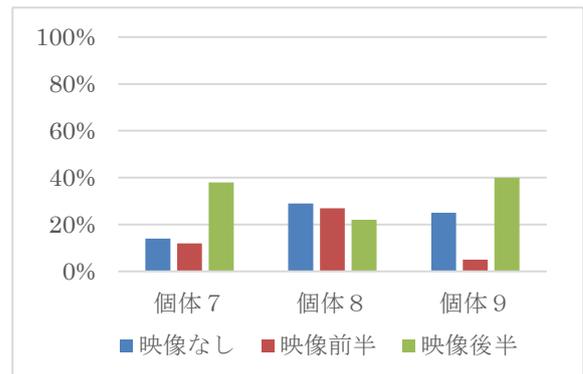


図 2-3

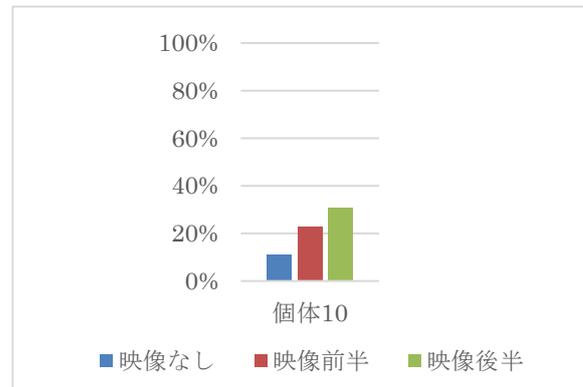


図 2-4

図 2 は、各個体について映像を見せる前の 5 分間、映像前半 5 分間、映像後半 5 分間における潜行時間の割合を示したものである。実験 1～10 はそれぞれ別の個体を用いて行った。

実験 10 回のうち 7 回(実験 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9)では映像を見ていない時より映像前半の 5 分間で潜行時間が短くなった。

また、実験 10 回のうち 8 回(実験 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10)では前半 5 分間よりも映像後半の 5 分間で潜行時間が長くなった。

4. 考察

計 6 回の実験において 1 個体だけで他個体を見ずに過ごしていた時より、平常状態の他個体の群れの映像を見せている前半 5 分間で潜行時間が短くなったことから、野生では群れで生活するゼブラフィッシュは、多数の仲間と行動している時に単独で行動している時よりも安心感を得たと考えられる。

また、計 8 回の実験において前半 5 分間より後半 5 分間で潜行時間が長くなったことから、ゼブラフィッシュは視覚を用いて仲間の姿を認識し、その様子から危険を察知していると考えられる。後半 5 分間はゼブラフィッシュが潜行している映像であることから、潜行という行動はゼブラフィッシュに恐怖を感じさせる視覚によるトリガーたり得ることが、先行研究(生形ら, 2019)に続いて確かめられたと言える。

5. まとめと今後の課題

本実験から、ゼブラフィッシュは単独で行動している時より仲間の姿が視界に入っている時の方が安心するようだということが示唆された。

また、ゼブラフィッシュは視覚で仲間を認識しており、仲間の潜行に恐怖を感じて、自らも潜行することが示唆された。

問題点としては、実験回数が 10 回と不十分であることと、実験方法の確立までに時間がかかったことである。

今後の展望としては、フリージングをしている映像などを見せて、恐怖を感じるトリガーをさらに突き詰めていきたい。

6. 謝辞

京都大学大学院情報学研究科前川真吾先生には、研究方法についての助言をいただきました。深く御礼申し上げます。

7. 参考文献

生形綾音 椋橋直陽 櫻井太翔 平田艶羽,

2019 恐怖は伝染するか?～ゼブラフィッシュの警報物質を用いた研究～,
<http://www.kyoto-be.ne.jp/rakuhokuhs/BuildUpload/PDFFile05226505.pdf>
吉田将之, 2011, 魚類における恐怖・不安行動とその定量的観, https://www.jstage.jst.go.jp/article/hikakuseiriseika/28/4/28_4_317/_article/-char/ja/

eDNA を用いた琵琶湖疎水及びその下流域でのブルーギルの生息域調査

川本青汰 嶋村悠 田野入昭人

要旨

本研究は最新の生物調査手法の一つである eDNA 技術を用いて行った琵琶湖疎水及びその下流域におけるブルーギルの生息域調査である。eDNA 技術とは eDNA (environmental DNA, 環境 DNA) と呼ばれる環境水中の DNA を調べて生物相を把握する技術である。この技術を十分に活用することで、高校生の我々でもコストや時間を節約して生物種の生息域調査をすることが可能となる。しかしながら本研究において、我々は琵琶湖疎水及びその下流域でのブルーギルの生息域を特定することを目指したものの、ブルーギルの存在に関して信頼性のあるデータを得ることができなかった。

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外来魚で、日本各地に拡散し生態系の攪乱が問題となっている。駆除計画にはブルーギルの生息域を知ることが必要となるが、従来の方法は捕獲による生息確認のため、多くの時間やコストがかかることが欠点であった。eDNA 技術は、サンプル水中に含まれる生物の DNA を分析して生物調査を行うので、コストや時間が節減できることがメリットである。

そこで、我々はこの技術を活用して琵琶湖疎水及びその下流域におけるブルーギルの生息域調査を行うこととした。また、個体を捕獲する方法で行われた先行研究(石田, 2007)によると、ブルーギルの存在が確認されている琵琶湖の水が疎水を通して流れ込む高野川にはブルーギルが生息していない一方で、琵琶湖の水が直接は流れ込まない賀茂川には生息しているとされていたことから、疎水との合流地点より上流の高野川と賀茂川もサンプルをとって調べることにした。

予備実験としては、eDNA 解析技術を習得するため、高校生にも技術指導等を行っている神戸大学の源利文准教授の研究室を訪問し、基礎的

な実験技術を習得し、それらの技術を活用して、サンプル水の分析を行った。

2. 材料・研究方法

2-1. 研究試料

オスバン(塩化ベンザルコニウム(10%(W/V)水溶液)

Glass Fiber Filter GF/F 47mm(Whatman)
(0.7 μm まで保持できるもの)

DNeasy blood & tissue kit(Qiagen 社)

プライマーDNA(Maruyama, 2014 による)

ミトコンドリア DNA のシトクロム c 遺伝子中の
100 bp の領域を増幅する。

F:5'-GCCTAGCAACCCAGATTTTAACA-3'

R:5'-ACGTCCCGGCAGATGTGT-3'

Tris・Acetate-EDTA

アガロース(同仁化学研究所)

エチジウムブロマイド(GLP,フナコシ)

Taq-DNA ポリメラーゼ(New England Biolabs)

2-2. 研究方法

生息域を分析するために実験(1)と、ポジティブコントロールのための実験(2)、また、実験(2)でバンドが出なかったため、検証実験として実験

(3)を行った。

(1). 実験は、環境水を採取し、これをろ過し、ガラス繊維フィルターから DNA を抽出して *L. macrochirus* に特異的なプライマーで PCR を行い、アガロース電気泳動で増幅の有無を確認する方法で行った。環境水はビニール紐をバケツに括り付けて川に下ろして汲み上げるという方法で図 1, 図 2 に示す地点で採水した。汲み上げたサンプル水は事前に次亜塩素酸で洗浄したペットボトルに移し、採取する量は 2 L を超えるようにした。DNA の分解を抑えるためオスバン 1 mL を加えた。eDNA は、放出地点から、最大でも下流 1 km 以内で分解されることが知られている。本実験では各採水地点の距離を 2 km 以上に設定した。

採水番号	ポイント座標		
	E:	N:	
琵琶湖 疎水	1	135.861372	35.013931
	2	135.831172	34.996817
	3	135.815322	34.995336
	4	135.799267	34.999675
	5	135.791294	35.007044
	6	135.776153	35.015533
	7	135.795122	35.022567
	8	135.787125	35.039058
高野川	9	135.784986	35.048439
	10	135.774444	35.034339
賀茂川	11	135.742419	35.076417
	12	135.746889	35.064736
	13	135.758114	35.050356
	14	135.769919	35.032211
鴨川*	15	135.771817	35.017456
	16	135.770992	35.001869
	17	135.7628	34.970331
	18	135.740358	34.946375
桂川 1**	19	135.736667	34.945839
桂川 2	20	135.734458	34.929689
	21	135.734092	34.929919

図1 採水地点の座標

* 鴨川は高野川と合流後の賀茂川を指す

** 桂川 1 は鴨川と合流する前の桂川を指し、



図 2 採水地点の地図

桂川 2 は鴨川と合流後の桂川を指す

採取した環境水は、実験室に持ち帰ったのち、採取から 1 週間以内にすべてガラス繊維ガラス繊維フィルターを用いてろ過した。環境水の汚れの度合いに応じて 1 枚または 2 枚のガラス繊維フィルターを用いて 1 L をろ過した。

ガラス繊維フィルターからの DNA の抽出は DNeasy blood & tissue kit(QIAGEN)を用いて行った。サンプルごとろ過したガラス繊維フィルター 1 枚または 2 枚をザリベットのバスケット部に入れ、ガラス繊維フィルター 1 枚当たり 200 μ L の Buffer AL, 20 μ L の ProK を添加して 56°C の恒温槽で 30 分間放置したのち、2600 \times g で 3 分間遠心分離した。さらに、ガラス繊維フィルター 1 枚あたり 220 μ L の TE を添加し、1 分間放置したのち 2600 \times g で 1 分間遠心分離した。ザリベット下部にたまった液に、用いたガラス繊維フィルター 1 枚当たり 300 μ L のエタノールを添加し、この液の全

量を(複数回に分けて)Dneasy blood & tissue kit のカラムに移して 6000×g で 1 分間遠心し、液の全量をカラムに通して、DNA をカラムに吸着させた。このカラムを新しいチューブに寄せ換え、500 μL の Buffer AW1 を添加後、6000×g で 1 分間遠心、さらにカラムを新しいチューブに寄せ換えて 500 μL の Buffer AW2 を添加後、17000×g で 2 分間遠心した。最後にカラムを保存用のチューブに寄せ換えて 110 μL の Buffer AE を添加し、1 分間置いたのち 6000×g で 1 分間遠心分離して、得られた液を試料 DNA とした。

この DNA を以下の反応液、サイクルで PCR 増幅したのち、電気泳動を行い、エチジウムブロマイドで着色して観察した。電気泳動の手順は実験 (1) (2) (3) で共通している。

反応液(単位は μL)

Buffer (10x)	5 μL
dNTPs (10mmol/L)	5 μL
Forward Primer	1 μL
Reverse Primer	1 μL
試料 DNA	2 μL
Taq polymerase	0.5 μL
水	35.5 μL

サイクル

94°C	2 min	} ×25cycle
94°C	30 sec	
52°C	30 sec	
72°C	1 min	
68°C	2 min	

(2). ポジティブコントロールとして、ブルーギルの切身をすりつぶし、そこから DNeasy blood & tissue kit を用いて実験 (1) と同様に DNA を抽出した。ただし、実験 (1) ではサンプル水をろ過したガラス繊維フィルターをザリベットに入れていたが、実験 (2) ではすりつぶした切身を直接ザリベ

ットに入れた。そして以下のサイクルで PCR 実験を行った。

反応液(単位は μL)

Buffer (10x)	2.5 μL
dNTPs (10mmol/l)	0.5 μL
Forward Primer	0.5 μL
Reverse Primer	0.5 μL
試料 DNA	2 μL
Taq polymerase	0.125 μL
水	18.875 μL

サイクル

95°C	2 min	} ×35cycle
95°C	15 sec	
55°C	15 sec	
68°C	1 min	
68°C	2 min	

(3). 分析過程がうまく働いているか検証するため、実験 (2) で使用したブルーギルの DNA を用いて、反応液の諸条件を以下のように変えた PCR を行った。①から⑧までの試料を作製し、PCR のサイクルは実験 (2) と同様である。

反応液(単位は μL)

	①	②	③	④
10×Buffer	2.5	2.5	2.5	2.5
dNTPs *	1.0	0.5	1.0	0.5
Forward Primer	0.5	0.5	量は 0.5μL のまま	量は 0.5μL のまま
Reverse Primer	0.5	0.5	濃度を 10倍と した	濃度を 10倍と した
試料 DNA	2.0	2.0	2.0	2.0
Taq **	0.125	0.25	0.125	0.25
水	18.375	18.625	18.375	18.625

	⑤	⑥	⑦	⑧
10×Buffer	5.0	2.5	5.0	2.5
dNTPs *	0.5	0.5	1.0	0.5
Forward Primer	0.5	0.5	量は 0.5μL のまま	0.5
Reverse Primer	0.5	0.5	濃度を 10倍と した	0.5
試料 DNA	2.0	4.0	4.0	2.0
Taq **	0.125	0.125	0.25	0.125
水	16.375	16.875	13.750	18.875

*dNTPs はそれぞれ 10mmol/L

**Taq DNA polymerase

3. 結果

実験(1)(2)においてブルーギルの DNA の存在を示すバンドが出ることはなかった。

実験(3)では、試料②・⑤・⑥・⑧で DNA の存在を示す約 100 bp のバンドが検出されたが、試料①・③・④・⑦ではバンドは検出されなかった。

4. 考察

実験(1)では、ブルーギルの生息が確認されている琵琶湖の環境水(ポイント 1)や、釣り人がブルーギルの遊泳を確認した地点の環境水(ポイント5)が含まれているにも関わらず、すべての地点の環境水についてブルーギルの DNA の存在を示すバンドが確認されなかった。また、ブルーギルの DNA が確実に含まれているであろう実験(2)の切り身からも確認されなかった。

よって、実験(1)(2)における過程の何らかの段階で、DNA の抽出に失敗した、DNA が損なわれた、DNA が増幅されなかった、DNA を染色できなかった、などの問題が発生したためバンドが検出されなかったと考えられる。

実験(3)で DNA の存在が確認された試料②・

⑤・⑥・⑧は、諸条件の変更点に共通性が見られず、実験(2)と同じ条件で行った試料⑧でも実験(2)と異なり DNA の存在を示す結果が得られたことから、実験技術が不足しているため安定した結果が得られなかったと考えられる。

5. まとめと今後の課題

本研究ではこの論文の執筆時点までにブルーギルの生息域を特定することはできなかった。

eDNA 技術を活用した生息域調査は、プロセス自体は比較的容易なものが多いものの、実行段階では PCR 実験技術の確立した環境や実験者で行わなければ、信頼性が担保できないと考えられる。

今後の課題については、今回の研究で予想した結果が得られなかった要因の一つに執筆者らの技量不足が考えられるため、執筆者らが十分な技術を身に付けた上で実験を行うことが、より良い結果を得るための第一歩であると考えられる。

また、他の要因として、DNA が抽出されなかった、PCR 実験においてエラーが起こった、といった原因が考えられるため、エタノール沈殿法によって目に見える形で DNA を抽出することを試みたり、京都府立大学の実験室および薬品類をお借りして院生のご指導を仰ぎながら、鋭意実験中である。

6. 謝辞

eDNA 技術を我々に惜しみなく教えてくださった神戸大学の源利文准教授や同研究室のみなさま、また京都府立大学の織田昌幸教授や同研究室院生の千賀明香音さんをはじめとする、本研究に携わってくださったみなさまに対する多大なる感謝の念をこの場を借りて申し上げます。

7. 参考文献

一般社団法人環境 DNA 学会, 2019. 4. 25, 環境 DNA 調査・実験マニュアル ver2. 1

石田裕子・中林真人・竹門康弘・池淵周一 (2007)
堰堤で区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 50: 781-788.

Maruyama A, Nakamura K, Yamanaka H,
Kondoh M, Minamoto T (2014)
The Release Rate of Environmental
DNA from Juvenile and Adult Fish.
PLoS ONE 9 (12) : e114639 .
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0114639>

Sakai Y, Kusakabe A, Tsuchida K, et
al. Discovery of an unrecorded
population of Yamato salamander
(*Hynobius vandenburghi*)
by GIS and eDNA analysis.
Environmental DNA. 2019;1:281–
289. <https://doi.org/10.1002/edn3>.
31

トビケラシルクの性質

～水中接着剤を作ろう！～

小島秀人 塩谷友梨 野村純 安井瑛大朗

要旨

本研究では、賀茂川に生息するヒゲナガカワトビケラが分泌する「トビケラシルク」の強度を調べ、既に販売されている水中接着剤で接着しない素材にも接着するのではないかと考え、その性質について考察した。またどのようにトビケラが巣を造るのかを知るためにトビケラが巣を作る過程を観察した。

1. はじめに

ヒゲナガカワトビケラ (*Stenopsyche marmorata*)の幼虫は口器に絹糸腺があり、糸を吐き出す。幼虫はこの絹糸(トビケラシルク)を使って石と石の間に網を張り、かかった動植物破片をえさにするとともに筒状の巣を造る(丸山ら 2005)。

水中での接着ができる物質の開発はあまり進んでおらず、プラスチックやゴムなどに対して水中で接着可能な接着剤は存在しない。しかしトビケラシルクは水中での接着が可能であり、多少厭うもののゴムやプラスチックを接着する例も見られる。このような観点から水中接着剤や医療接着剤としての利用が期待されているが、研究がほとんど進んでいないのが現状である(新井ら 2017)。

昨年度のサイエンスⅡの研究(島田ら)では、トビケラシルクの熱・酸・塩基への耐性、ガラス・鉄・ゴム・石への接着性、巣を造る過程、接着面について研究した。

そこで本研究では、人工物・ラップの接着性、トビケラシルクの接着面の観察および元素分析等を行った。

2. 材料・研究方法

本研究で用いたトビケラは、2019年5月から11月に複数回、賀茂川北大路橋付近で採取した個体を用いた。また、単に水道水と言う場

合は、水道水からカルキ抜き剤でカルキを抜いたものを使用した。

2-1. 水道水と川水での行動の違い

2つの水槽A、Bを用意し、水槽Aにはカルキを抜いた水道水と観賞水槽用の微生物が存在しない石とテトラミン(観賞用熱帯魚用の餌)を付属スプーンの1/8ほどを入れた。

水槽Bには賀茂川の水と石をそのまま入れて別途餌を与えることはしなかった。また、それぞれに空気石から出るタイプの空気ポンプを設置し、採取したトビケラを2個体ずつ入れた。

2-2. 糸の観察

2-1の実験から2週間後に得たトビケラシルクを光学顕微鏡と実体顕微鏡で観察した。

2-3. 人工物への接着性

ゴムチューブを5cmほどに切り5本水槽に入れた。また同じ水槽にクリアファイルを5cm×5cmの正方形に切り、水槽の内側の面すべてにセロハンテープで張り付けた。さらにスライドガラスを同じ水槽に入れた。そこにトビケラを10個体入れ、水槽を25℃に設定された恒温器に入れた。

2-4. シルクの強度

賀茂川から石を採集してふるいにかけて、大きさ

の異なる4種(3mm未満, 3~5mm, 5~7mm, 7mm以上)に分けた。それぞれを水槽に入れ, 2匹ずつのトビケラを一週間飼育した。餌は与えなかった。トビケラによって造られた巣を観察し, その強度を手で直に触り調べた。

2-5. 巣を作る様子

ふるいで分けた4種の石のうち, 3mm未満, 3~5mm, 5~7mmの石を, 水槽に一層敷きつめた中でトビケラを1匹飼育し, 巣を作る様子を, 水槽の底から, ビデオカメラで24時間撮影した(図1)。



図1. 実験の様子

2-6. ラップへの接着性

一つの水槽(A)には内側に食品用ラップ(サランラップ, 旭化成, ポリ塩化ビニリデン製, 以後ラップ)を貼って小石を敷き, もう一つの水槽(B)には小石とラップを巻いた手の拳2個分ほどの大きさの石を入れ, トビケラをそれぞれ1匹ずつ飼育した。そして, ラップに巣を造るのか調べた。

2-7. トビケラシルク詳細部の観察

電子顕微鏡(日立ハイテクノロジーズ TM3030Plus)を用いてトビケラシルクの繊維の分岐部分と石への接着部分を観察した。

2-8. トビケラシルクの元素の比較

電子顕微鏡に付属のSEM-EDS(エネルギー分散型X線分光装置)を用いて, 賀茂川で採取したトビケラシルク, 水道水中で造らしたトビケラシルク

それぞれについて, 構成元素を調べた。

3. 結果

3-1. 水道水と川水での行動の違い

水槽Aでは空気石の周り, 水槽の隅の部分に巣ができていた。トビケラは壁と壁の間に糸を張り, 自分自身を覆うように, 糸だけの, 石を使わないもやもやした巣を形成していた。

水槽Bではエアストーンの周り, 石と壁の間に巣ができていた。Aとは違い石と石, 石と壁の間を糸で接着していた。

3-2. 糸の観察

水槽Aでは底部分に小石が接着していた。手で触ってみたところ, 水面から上げても壊れないほど強固に接着していた。

水槽Bでは1匹は, 周りに巣を作っていたが巣の中にはおらずへばりつくようにいた。もう1匹は, 2週間前から同じ巣中住んでいて, 巣から出た形跡は見られなかった。

水槽Aから採取したトビケラシルクを光学顕微鏡ないし実体顕微鏡で観察したが, 実体顕微鏡では倍率が低く何も見られなかった。

光学顕微鏡で観察したところトビケラシルクの繊維の中に筋のようなものが見られた(図2)。

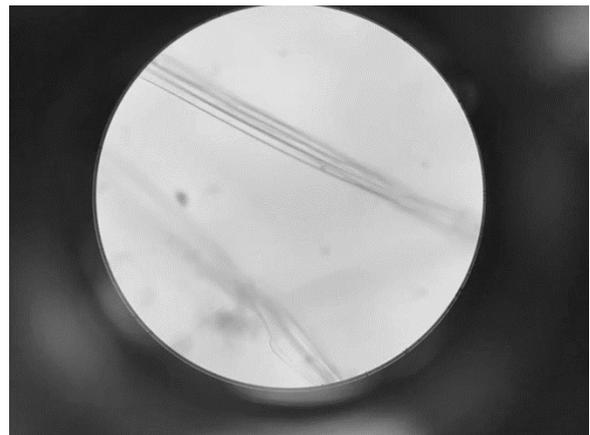


図2. 光学顕微鏡(×600)で見たトビケラシルク

3-3. 人工物への接着性

ゴムチューブ, スライドガラス, クリアファイル, それぞれすべて接着しなかった。ゴムチューブに糸

のようなものが着いていたがトビケラシルクとは違うもののように見えた。トビケラは死んでいてそのまわりにもやもやしたカビのような物質があった。

3-4. シルクの強度

3 mm 未満の石のみに強固な巣が見られた。7 mm 以上、5-7 mm の石では糸は張られていたが、巣は見られなかった。3-5 mm の石には糸が張られていなかった。7 mm 以上と5-7 mm の石を持ち上げると、石が落ちそうなほど粘着力が弱かった。ただしここでいう「巣」とはトビケラが収まるほどの大きさの空間が存在するものを指す。

3-5. 巣を作る様子

ビデオの観察から大きな石の周りにある小石を、大きな石の下のくぼみにかき集める様子が見られた。小さすぎる石は使われていなかった(図 7)。

3-6. ラップへの接着性

水槽 A では、巣は造られたが、ラップを貼った側面には接着していなかった。水槽 B ではラップを巻いた大きな石に巣は接着していなかったが、石の下のくぼみに小さな石だけで造られた巣が見られた。その巣は、水槽の底と接着していた。

3-7. トビケラシルク詳細部の観察

電子顕微鏡で見たトビケラシルクの繊維は1本の繊維ではなく2本から5本ほどの繊維が束のようになっていることが分かった。また分岐点では繊維そのものから分岐しており、接着した跡のようなものは見られなかった。また、石との接着部分では接着面が大きくなっていた(図 3, 4, 5, 6)。

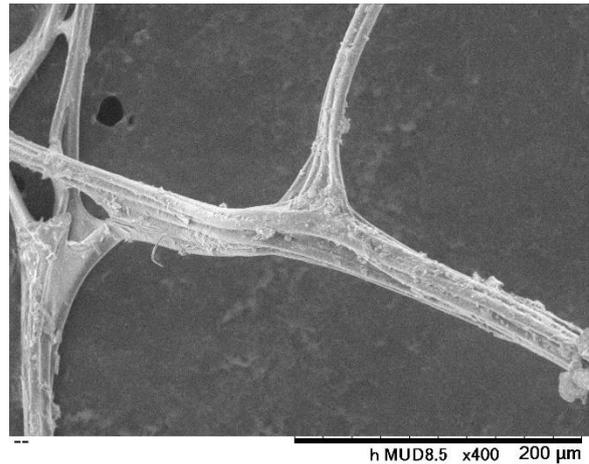


図 3. 電子顕微鏡(×400)で見たトビケラシルク (賀茂川で採取したトビケラシルク 分岐部分)

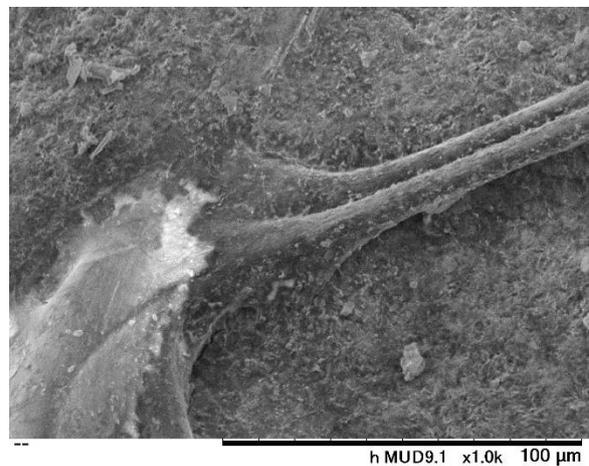


図 4. 電子顕微鏡(×1000)で見たトビケラシルク (賀茂川で採取したトビケラシルク 接着面)



図 5. 電子顕微鏡(×1000)で見たトビケラシルク (賀茂川で採取したトビケラシルク 分岐部分)

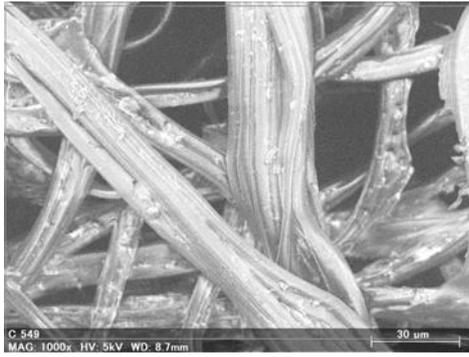


図 6. 電子顕微鏡(×1000)で見たトビケラシルク
(実験室で造らせたトビケラシルク)

3-8. トビケラシルクの元素の比較

EDS 分析において O, C, N のピークが強かった。次いで Ca, Al のピークもトビケラシルクに出ていた。しかし P, K, S のピークは見られなかった。また、水道水中で人工的に造らせたトビケラシルクは Si のピークが全くなかったが賀茂川で採取してきたトビケラシルクには Si の強いピークがあった(図 8, 9)。

4. 考察

4-1. 水道水と川水での行動の違い

この実験は今後トビケラを育てていくうえで水道水中かつ簡単に手に入る熱帯魚の餌のみで成育していけるかということを目的に行った。A の水槽でも 1 週間は生き続けることが分かったので今後はこれらの環境下で行っても大きな支障はないと判断した。A の水槽では大きな土台となるような石がなかったため、石を使わずに糸だけの巣ができたのではないかと考えられる。B の水槽の結果から川の水で水流がなくてもトビケラは巣を作ることが分かった。

4-2. 糸の観察

カイコのシルクは 2 本の束であるが、4 本の筋があったことから 4 本の繊維が束になって 1 つの繊維になっているのではないかと考えられる。そしてそれがトビケラシルクの粘着性、あるいは接着性を強めている可能性がある。

4-3. 人工物への接着性

石のようなざらざらした物には接着するが、つるつるとした人工物には巣を造れないのではないかと考えた。もやもやとした物質を身にまとっているトビケラが何匹かいたので、さなぎになる際に自分の身を守る粘膜のようなものかもしれない。またその物質が巣を造るのに役立っている可能性も考えられる。

4-4. シルクの強度

3 mm 未満の石の水槽で巣が造られ、5~7 mm, 7 mm 以上では造られなかったため、3 mm 未満の石は強固な巣を作る上で必要不可欠なのではないかと考えた。自然界では、3 mm 以上の石を用いられた巣も見受けられたため、3 mm 未満の石は石と石の隙間を埋める働きをしているのではないかと考えられる。3~5 mm の石の水槽のトビケラは、まだ小さい個体だったため、巣を造れなかった可能性がある。

4-5. 巣を作る様子

巣の近くにある石だけでなく離れたところからも集めていたことから、巣を造るのに適する石を選んでいると考えられる。

4-6. ラップへの接着性

ポリ塩化ビニリデンには接着しない、もしくはラップのような柔らかいものには接着しないと考えられる。

4-7. トビケラシルク詳細部の観察

2 本から 5 本が束になって 1 つの繊維を形成していて、それ故に繊維がより強くなっていると考えられる。また石への接着については接着面を大きくすることによって面積あたりにかかる力を少なくすることによってより強く接着することに役立っているかもしれない。

4-8. トビケラシルクの元素の比較

先行研究より(新井ら 2017)トビケラシルクはタンパク質なので C, O, N については納得である. Ca や Al の反応については不明であるがタンパク質にこのような無機物が大切な働きをしている可能性はある. Si については賀茂川で採取したもののみ反応があったので川では巢にケイソウなどの二酸化ケイ素を含む生物が流れて絡み付いるものであり, またトビケラはそれらを食べ物としていると考えられる.

5. まとめと今後の課題

実験 1 から 6 までは主に水槽内でのトビケラの行動について, 実験 7 と 8 はトビケラシルクの性質について調べてきたが, まだまだトビケラには分からないことが多い. 過去の研究で今後の課題として挙げられていたシルクを海水につけたときの変化の原因や人工物に付かないわけ, 巣形成に使う石の嗜好, 飼う際の適した環境などといった初歩的なことも解明できていない. 今後は次々と出てきた問題一つ一つに向き合い, どのようにしてトビケラシルクを実用化するのかを考えようと思う.

6. 謝辞

京都府立大学の神代圭輔准教授および同研究室大学院生の皆さんには SEM, EDS の使用についてご指導いただきました.

7. 参考文献

- 丸山博紀・高井幹夫, 第 1 版 第 5 刷, 原色 川虫図鑑, 全国農村教育協会, 58~83p.
- 波多野友博, 2006, ヒゲナガカワトビケラの生成するシルクの構造とその接着様式
- 大日本蚕糸会, 2015. 12. 25, カイコの新シギ
http://www.silk.or.jp/kaiko/kaiko_fushigi.html

8. 添付資料



図 7. 巣を作る様子

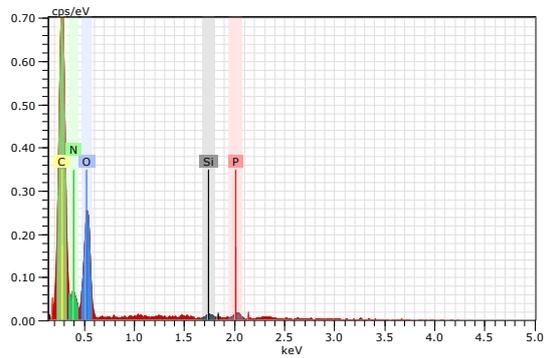


図 10. 元素スペクトル(実験室で造らせたトビケラシルク)

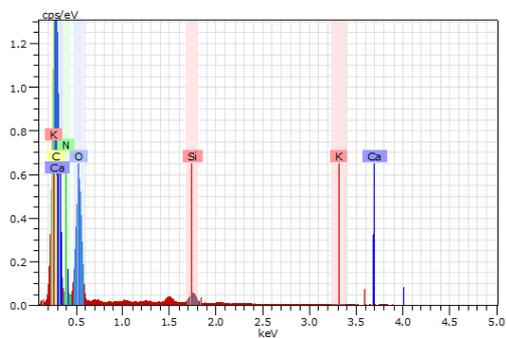


図 11. 元素スペクトル(賀茂川で採取したトビケラシルク)

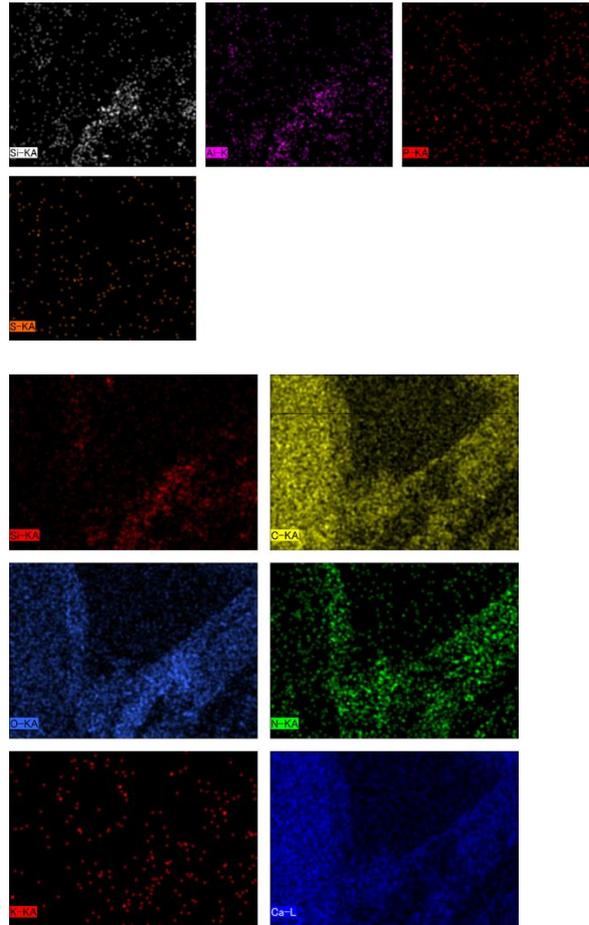


図 8. EDS の元素分析(賀茂川で採取したトビケラシルク)

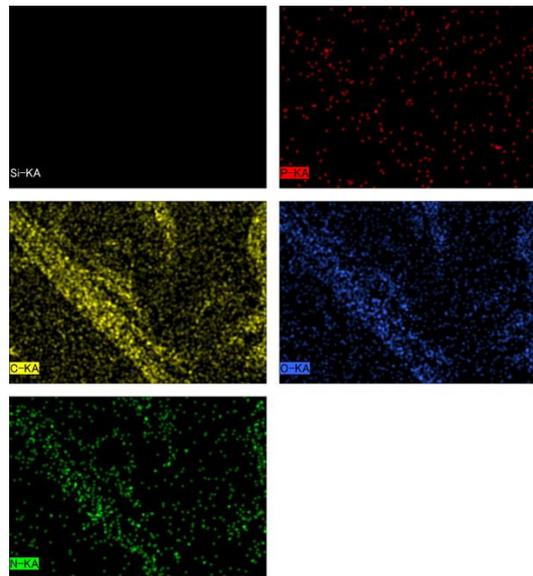


図 9. EDS の元素分析(実験室で造らせたトビケラシルク)

薬物投与によるシロカネグモの凶暴性の低下

梅原成哉 萱野創太 松原和志

要旨

クモは共食いをする性質があり、これはクモの集団飼育が不可能とされる第一の理由である。薬物投与により凶暴性を抑え共食いを防ぎ集団飼育を可能とし、クモの糸の量産への一助とするのが本研究の目的である。クモに薬物を投与し本来共食いをするはずの状況下で観察を行った結果、薬物投与を行ったクモでは共食いは観察されず薬物の作用により死亡した。よって薬物がクモの凶暴性にどのように作用したかは検証しきれなかった。

1. はじめに

本来警戒心が強く単独行動を好むタコに MDMA を投与するとタコ同士の積極的な接触が観察されるという先行研究 (Edsinger et al., 2018) がある。そこで我々は薬物の投与による生物の社会行動の変化について研究することにし、その対象としてシロカネグモ *Leucauge blanda* を実験に使用した。クモは共食いをする性質があり、これはクモの集団飼育が不可能とされる第一の理由である。薬物投与により凶暴性を抑え共食いを防ぎ集団飼育を可能とし、クモの糸の大量生産を可能にすることがこの研究の目的である。我々はクモを十分狭いケージ内で集団飼育すると共食いをするという情報を得ていたため、クモが共食いをするか否かという観点から定量的に社会行動の変化を観察できると考えた。同種同士で争う生物としては他にフタホシオオロギ *Gryllus bimaclatus* があげられる。冬季の実験ではクモ類の採集が困難になったため安定した供給が見込めるフタホシオオロギを使用した。

- ・アシナガグモ 6 個体
- ・フタホシオオロギ(オス) 16 個体
- ・ニンジン 17.89 g
- ・カフェイン 0.71 g
- ・パブロンゴールド A 大正製薬 20 mg
- ・水道水 500 mL
- ・プラスチックコップ
- ・スプレーボトル(薬物投与に使用)

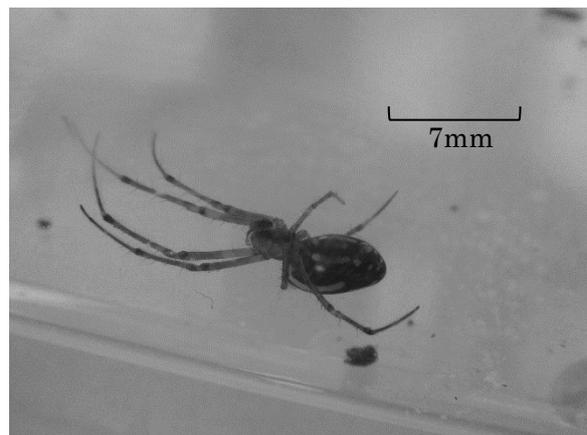


図1 シロカネグモ *Leucauge blanda* (上)と捕食されたシロカネグモの遺骸(下)
成体 オス

2. 材料・研究方法

2-1. 研究試料

使用した研究試料は以下のとおりである。

- ・虫かご(14×10×8 cm) 3つ
- ・チュウガタシロカネグモ 9個体

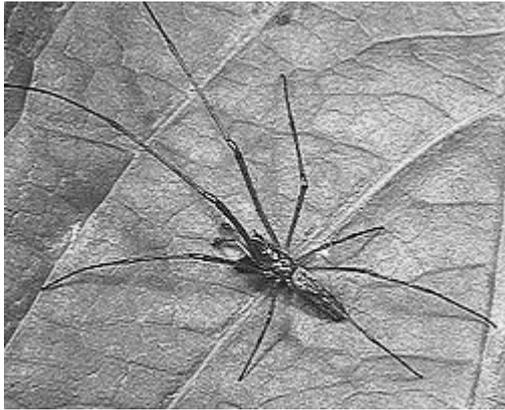


図 2 アシナガグモ *Tetragnatha Praedonia*
成体 オス(Wikipedia)より引用

2-2. 研究方法

実験 1 では、本校近隣で採集したチュウガタシロカネグモ 5 個体を虫かごに入れ、水分を供給するために濡らして丸めたティッシュペーパーを入れた後、5 日間にわたって経過を観察した。

実験 2 では、チュウガタシロカネグモ 4 個体と、同じく本校近隣で採集したアシナガグモ 6 個体を、虫かごを半分に仕切った場所(以下ケージと呼ぶ)にそれぞれ同種のクモを 2 個体ずつ入れ、設定した分量の風邪薬を水に溶かした水溶液(40 mg/L)を虫かご 1(ケージ 1, 2)に、4 mg/L を虫かご 2(ケージ 3, ケージ 4)を、スプレーを用いて吹きかけ、その後の様子を観察した。また、薬物投与を行わない状況下でアシナガグモが共食いを確認するため、別の虫かごにアシナガグモ 2 個体を入れ、実験 1 と同様にして対照実験を行った。

実験 3 では、実験前にフタホシコオロギ、学名 *Gryllus Bimaculatus* 16 個体をそれぞれ 1 個体ずつプラスチックコップに分け、9 個体にカフェインを 0.7 g 含ませたニンジンと餌として与え、残り 7 個体にはカフェインを含まないニンジンを与え 2 日間飼育した。なお、それぞれに濡らしたティッシュペーパーを入れ、ケージ内の温度は 20℃を保った。上記の虫かごに 2 個体ずつコオロギを入れカフェインを投与したものどうし、していないものどうしの 2 パ

ターンについて行ったコオロギ同士の喧嘩の様子を観察した。同時に、コオロギの戦闘意欲を煽動するためにメスのコオロギを虫かご内に入れ、その後 3 分間における鳴いた回数、はじめて鳴くまでにかかった時間、喧嘩の回数と開始時刻を調べた。

3. 結果

<実験 1>

- 5 月 16 日 クモを採取し虫かごに入れる。
- 5 月 17 日 互いに距離を取りながら各々が巣を張る。
- 5 月 20 日 クモの個体数が 5 個体から 2 個体に減った。
- 5 月 21 日 クモの数は 2 個体から 1 個体に減った。残ったクモが死んだクモを捕食しているところが観察された

5 月 20 日、21 日では、虫かご内で、体液を吸われ、黒色の塊となったクモの死骸と考えられるものが確認された(図 1)。

<実験 2>

結果は以下の表 1 に示す。

表内の数字は、薬物投与後 24 時間における死亡したクモの個体数である。表内の「No data」の部分は、実験を行っていない。

表 1 実験 2 の結果

	40 mg/L	4 mg/L	投与なし
シロカネグモ	1	1	No data
アシナガグモ	0	1	0

表内における「0」と記載されている項では、クモ

同士が交尾，産卵を行っていることが確認された。また，この実験におけるクモの死骸の形状は実験 1 とは異なり，生前の体形をほとんどそのまま維持していたことが確認された。

<実験 3>

結果は以下の表 2 と表 3 に示すとおりである。コオロギを同時にケージに入れてからの経過時間を時刻と呼ぶ。

表 2 カフェイン有りどうし

回数	初めて羽を鳴らした時刻	羽を鳴らした合計回数	初めて喧嘩をした時刻	喧嘩の回数
1 回目	なし	0	No fight	0
2 回目	0:43	33	2:03	1
3 回目	0:31	246	No fight	0

表 3 カフェイン無しどうし

回数	初めて羽を鳴らした時刻	羽を鳴らした合計回数	初めて喧嘩をした時刻	喧嘩の回数
1 回目	2:38	12	No fight	0
2 回目	0:47	159	0:39	1
3 回目	2:57	8	No fight	0

3 回目においてコオロギどうしが交尾しかけた。カフェインを投与したコオロギはすべて翌日に死んでいた。



図 3 コオロギのオス同士の争い



図 4 交尾しかけたコオロギ

4. 考察

実験 1 より，チュウガタシロカネグモは同時に複数体が虫かごの中にいるとき，共食いをすることが確認された。死んだクモの死骸の形状がクモに捕食された死骸に特有の黒く縮んだものになっていたことがその証拠として考えられる。

実験 2 からは，チュウガタシロカネグモ及びアシナガグモの双方において，クモの死骸が完全体を維持していたこと，交尾及び産卵の発生により一方が死ぬという現象が起こらなかったこと，の 2 点から今回の結果は凶暴性の低下に関する有効なデータとは考えにくい。またこの実験において，クモは共食い以外の何らかの原因，つまり投与した薬物に含まれるほかの物質の影響によって死んでしまったと考えられる。

実験 3 からは，コオロギの鳴き方や求愛行動，凶暴性に関するカフェイン投与による明確な差異は観察できなかった。しかしカフェインを投与したコオロギは翌日に死亡した。このことからコオロギに対してもカフェインは有毒性が高いと考えられる。このことからシロカネグモの死因もカフェイン中毒である可能性が高いと考えられる。

5. まとめと今後の課題

今回の研究からいえることは，チュウガタシロカネグモは十分狭いケージの中では共食いすること，

また、カフェインはチュウガタシロカネグモやフタホシコオロギに対して有毒であることである。後の課題としては、適切な投与量で実験 2 の反証実験を行うこと、カフェインに選択毒性があるかを調査すること、他の昆虫に対するカフェインの毒性の調査などがあげられる。

6. 参考文献

- Eric, Edsinger. and Gül, Dölen., 2018,
A Conserved Role for Serotonergic
Neurotransmission in Mediating
Social Behavior in Octopus
Current Biology, Volume 28, Issue
19, 8 October 2018, Pages R1147-
R1149
- 2014.6.1, ウィキペディア「アシナガグモ科」,
<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%A2%E3%82%B7%E3%83%8A%E3%82%AC%E3%82%B0%E3%83%A2%E7%A7%91>, 2020.1.23

恋を知らばや拾遺集を知るべき

～ 和歌の修辞法の文学的・言語的分析による拾遺和歌集の撰者考察 ～

飛鳥井翠 花岡優佳

要旨

八代集のうち唯一撰者が判明していない『拾遺和歌集』の撰者を、いまだ先行研究が行われていない和歌の修辞に着目して調べた。具体的な撰者の特定はできなかったが、各和歌集に修辞の特徴がみられ、藤原長能説を否定する根拠を挙げることができた。

1. はじめに

拾遺和歌集（以下、拾遺集）は3番目の勅撰和歌集である。撰者は後拾遺和歌集中の記述などから花山院であるとする説が有力であるが、当時の歌壇の第一人者であった藤原公任や、花山院の側近であった藤原長能とする説もある。本研究では、花山院、藤原公任、藤原長能に限定し、歌集中に使われる修辞法の数を和歌集ごとに比較することで撰者を推定した。

2. 材料・研究方法

2-1. 研究試料

『拾遺和歌集』春・夏・秋・冬（以下、四季とする）・恋（撰者不明、1006年頃成立）

花山院の和歌（『今井源衛著作集9 花山院と清少納言』より）

『拾遺抄』四季・恋（藤原公任撰、996～997年頃成立）

『大納言公任集』（藤原公任詠）

『長能集』（藤原長能詠）

2-2. 研究方法

各和歌集について【枕詞】【序詞】【掛詞】【縁語】【体言止め】の5項目の出現数を調べた。調査した和歌集は『拾遺和歌集』恋・四季、花山院の和歌、『拾遺抄』恋・四季、『大納言公任集』、『藤原長能集』の5つである。

花山院が撰んだと断定される和歌集が現存していないため、花山院の詠んだ和歌を『今井源衛著作集9 花山院と清少納言』より収集して『拾遺和歌集』の比較対象として使用した。そこで、はじめに、ある人物が撰んだ歌と詠んだ歌に修辞の関連があるかを調べるため、既に撰者と詠み手がそれぞれ藤原公任であると判明している、『拾遺抄』と『大納言公任集』を用いて比較を行った。次に『拾遺和歌集』と花山院の和歌、『拾遺和歌集』と『拾遺抄』、『拾遺和歌集』と『藤原長能集』を比較し、花山院説、藤原公任説、藤原長能説のどれにより近い結果になるかを考察した。

なお、『拾遺和歌集』は藤原公任の私選集である『拾遺抄』を増補してつくられた勅撰和歌集であるが、特に恋の巻に多くの増補が見られるため、研究の初期段階においては『拾遺和歌集』と『拾遺抄』の調査対象を恋の巻のみに限定していた。しかし研究途中で、花山院の和歌が四季の歌を多く含むことが判明したため、より正確な比較対象として『拾遺和歌集』『拾遺抄』の四季の巻を追加した。

和歌集ごとに（各修辞の数）÷（総歌数）を計算し、1首当たりの各修辞の数を求めてグラフ化した。

3. 結果

結果は以下のようになった。

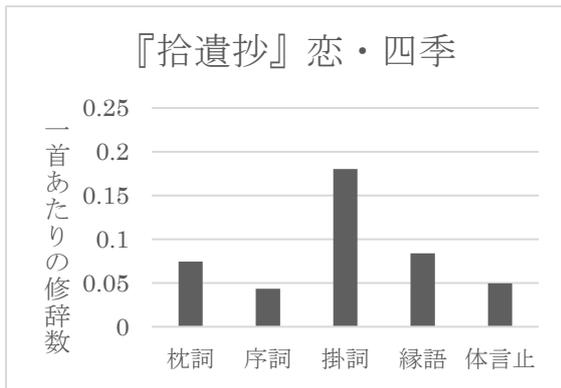


図 1. 『拾遺抄』恋・四季

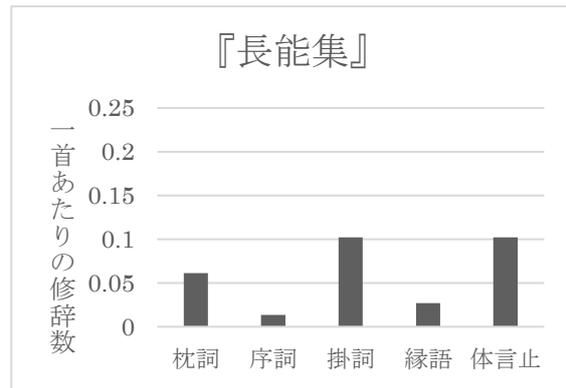


図 5. 『長能集』

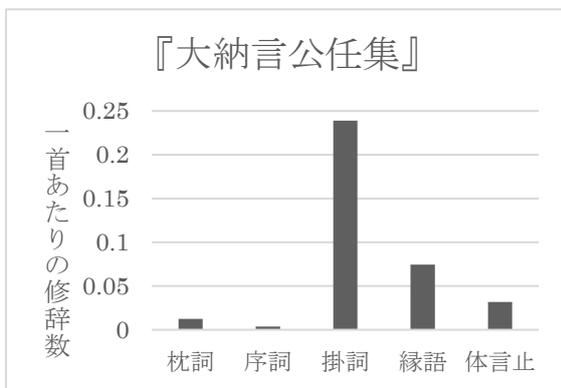


図 2. 『大納言公任集』

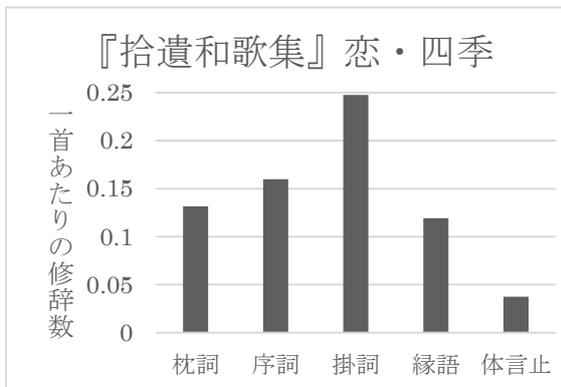


図 3. 『拾遺和歌集』恋・四季

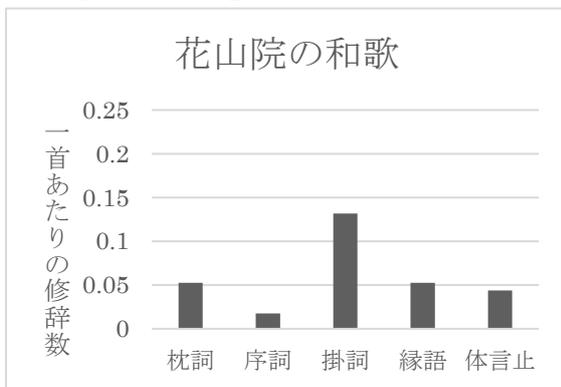


図 4. 花山院の和歌

4. 考察

図 1, 図 2 を比較すると, 掛詞, 縁語, 体言止めについては全体の形が似ている. 枕詞と序詞に注目すると, 図 2 のほうが顕著に数が少ないことが分かる. しかし, 拾遺抄の成立がちょうど村上天皇によって万葉集の解説が命じられて万葉集の価値が見直されていた時期であり, 万葉集には枕詞, 序詞が多用されたことを考慮すると, 万葉集の影響を受けて成立した『拾遺抄』に枕詞, 序詞が多くみられるのは妥当なことであると考えられる. よって, ある人物が詠んだ歌と撰んだ歌は修辭的に関連があるといえる.

次に図 3 と図 1, 図 4, 図 5 をそれぞれ比較する. 図 3 は全体的に使われている修辭の数が多いという点で, どのグラフとも類似点が見られない. 特に枕詞, 序詞の数の多さは際立っている. ただ, 枕詞, 序詞については研究者によって何を枕詞, 序詞とするかの解釈が分かれるので, 参照した脚注による違いが表れている可能性がある. そこで枕詞, 序詞以外の項目で比較を行うと以下のように考察できる.

図 1 と図 4 が酷似しているため, 図 3 がどちらにより近いかは考察することができないが, 掛詞, 縁語, 体言止めについてはどちらも図 3 と形が似ているといえる. 図 3 と図 5 を比較すると, ひとつひとつの項目においても, 全体的な形にお

いても、類似点を発見することができない。よって、『拾遺和歌集』を藤原長能が撰んだとする説は否定できる。

5. まとめと今後の課題

以上より、本研究中では藤原長能説は否定できたものの、花山院説、藤原公任説の裏付けにはどちらも不十分である。

今後の課題として以下の点が挙げられる。

本研究では限られた 5 つにグラフから特徴の比較を行ったが、さらに多くの和歌集について同様の調査を行った場合、本研究で類似しているとみなした項目について異論が生じる可能性がある。多くの和歌集について修辞の数を調べることで全体の傾向を知り、その中で類似点を検討することが必要である。

また、『拾遺和歌集』『拾遺抄』において研究対象を四季・恋に限ったため、あるいは花山院の歌が 114 首しか集められなかったため、情報が不十分であるといえる。修辞法には心情と情景を掛けて詠み込むものが多いため、例えば情景から心情を歌う恋の歌と情景を歌う四季の歌では使われる修辞の数が異なると予想される。それが今回の結果にどのような影響を与えたかは不明であり、今後、より精度の高い研究を行うことが求められる。

最後に、『拾遺和歌集』の撰者を考察するにあたって、共同作業が行われた可能性を考慮しなければならない。勅撰和歌集の編纂には膨大な作業量を要するため、たった一人で編纂されたことは考えにくい。特に花山院が撰者である場合、側近達の助力は大きいと考えられ、さらに言えば、先に側近が選考した和歌の中から彼が選ぶという二重の選考がなされた可能性もある。よって、本研究はある一人の趣向が歌集に強く表れているという前提のもと進めてきたが、この想定が適切かどうかを再度検討する必要がある。

6. 謝辞

多くの知識や助言をいただいた京都産業大学文化学部京都文化学科教授の小林一彦先生に深く感謝の意を申し上げます。

7. 参考文献

- 今井源衛, 2003, 『今井源衛著作集 9 花山院と清少納言』, 笠間書院
- 緑川亨, 1990, 『拾遺和歌集』 新日本古典文学大系 7, 岩波書店
- 松本真奈美, 高橋由紀, 竹花績, 2004, 『大納言公任集』, 明治書院
- 玉上琢弥, 1989 『長能集脚注』 塙書房

現代社会における SNS の利用と承認による快樂

～ アンケートを用いた高校生の実状 ～

久保翔基 富田蒼空

要旨

私たちは今日、若者を中心に広く利用されている SNS(ソーシャル・ネットワーキング・サービス)における承認欲求に注目した。本研究では、「SNS に投稿する主な理由は承認欲求によるものである。」という仮説を立て、京都府立洛北高等学校の 2 年生 68 人にアンケート調査を行ない検証した。その結果、対象校の生徒において、私たちが当初に立てた仮説とは異なり、起こった出来事や写真などを投稿して、詳しく半永久的にデジタル上に記録をする「備忘録」としての利用や、自分の思ったことや感じたことをただ「ひとりごと」として投稿するという利用が多く、自己の承認欲求を満たすための利用は少なかった。

1. はじめに

スマートフォンの普及に伴い、SNS(ソーシャル・ネットワーキング・サービス)は私たちの生活により身近で、簡単に利用されるものとなっている。世間で多くの人に利用されている SNS の中でも Twitter や Instagram といったコンテンツには、自分の発信したいとおもったことを文章にしたり、写真を添付して、インターネット上に投稿することができる機能がある。そこで私たちは「なぜわざわざ自分の個人情報や、不特定多数が閲覧することができるインターネット上に投稿するのか」という疑問から、「SNS に投稿する主な理由は承認欲求によるものである。」という仮説を立て、調べることにした。

Twitter は世界全体で 3 億人が利用しており、国内の利用者数は 4500 万人を超えている利用者の多い SNS のひとつである。主な機能は 1 回につき 140 文字までのテキスト(=ツイート)を投稿するというシンプルなものであるが、「リツイート」という機能によって最初に発信したツイートがほかのユーザーへ次々に拡散されていくという特性を持っているため、その他の SNS に比べるとより拡散性が高いといえる。また、アカウントを承認し合うことでつながる SNS とは異なり、好みのツイート

をするユーザーを一方向的にフォローすることも多いのが特徴である。

Instagram は世界全体で 10 億人が利用しており、国内の利用者数は 3300 万人を超えている利用者の多い SNS のひとつである。Instagram は文章も投稿することが出来るが、主に写真や動画のビジュアルを楽しむ SNS であるため、他人の目を引くようなお洒落な写真が多くみられる。2017 年には、Instagram に写真をアップロードし、公開した場合に、ひととき見栄えよく素敵に見える(映える)という意味で用いられる、「インスタ映え」という流行語も生み出した。

総務省は「平成 30 年情報通信メディアの利用時間と情報行動に関する調査」で、ソーシャルメディアの利用率についての統計を取っている(総務省情報通信政策研究所, 2019, https://www.soumu.go.jp/iicp/research/results/media_usage-time.html)。これによれば、平成 30 年の 10 代と 20 代の利用率は、それぞれ LINE で 88.7%と 98.1%、Twitter で 66.7%と 76.1%、Youtube で 91.5%と 92.8%、Instagram で 58.2%と 63.2%であった。例えば中学、高校、大学、という学校の場合、友人関係がうまくいかず自分の居場所を見つけられないでいるような場合、

10代から20代の青年にとってやはり SNS という場はもう一度自分を賭けられるもう一つの場所なのである。とある(正木, 2018)

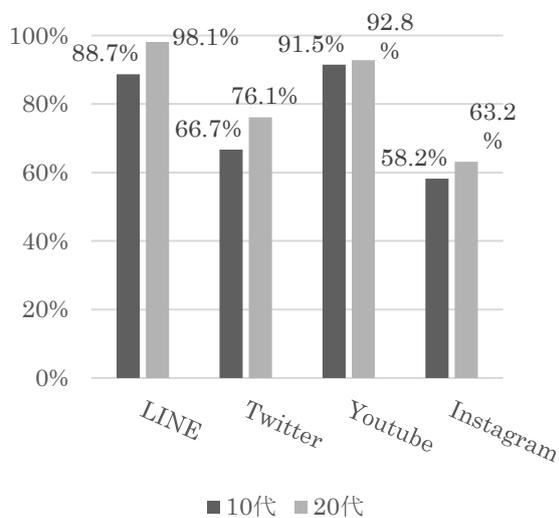


図 1.10 代, 20 代の主な SNS の利用率

ことから, 若い世代の SNS 利用について調べるにあたって, 同世代でもっとも身近な存在である高校生を研究対象にした。

2. 研究方法

高校生における SNS の実状を調査するため, 本校 2 年生 68 人を対象に次の項目を設けてアンケートを行った。

問 1 では性別について質問した。問 2 ではどの SNS を利用しているかについて複数回答可で質問した。問 3 では SNS に何を目的に投稿するかについて, 問 2 でいずれかの SNS を利用していると答えた人にも選択肢を設けて質問した。問 4 ではもし他人から SNS 上で「いいね」を貰った際にどの条件を満たしているときに最も嬉しいと感じるかについて選択肢を設けて質問した。問 5 では SNS 以外での承認欲求の満たし方についてどのようなアイデアが他にあるか自由記述式で質問した。

3. 結果

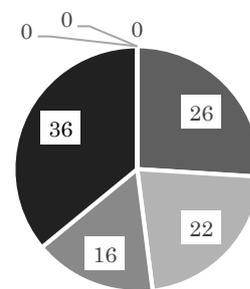
3-1. データ数と男女比

本校 2 年生 68 人(男子 31 人, 女子 37 人)から有効な回答が得られた。

3-2. SNS の利用について

いずれかの SNS を利用している人の割合は 73%でそのうち Twitter のみを利用しているのは 32%, Instagram のみを利用しているのは 2%, Twitter と Instagram のどちらも利用しているのは 66%となった。

また, SNS に何を目的に投稿するかという質問(問 3)の結果は次のグラフのようになった。

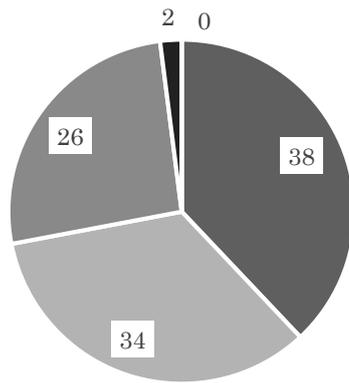


- 思ったことや感じたことを共有するため (26%)
- 備忘録として記録するため (22%)
- ひとりごと (16%)
- 投稿はせず, 閲覧のみ (36%)
- 自分が特別な存在だとアピールしたいから (0%)
- 自分の頑張りや功績を認めて欲しいから (0%)

図 2. SNS での投稿の目的

3-3. 「いいね」機能について

もし他人から SNS 上で「いいね」を貰った際にどの条件を満たしているときに最も嬉しいと感じるかという質問(問 4)の結果は次のグラフのようになった。



- 特定の知人から「いいね」を貰う (38%)
- 特定の有名から「いいね」を貰う (34%)
- 大量に「いいね」を貰う (26%)
- 全くの他人から「いいね」を貰う (2%)
- その他 (0%)

図 3. 「いいね」を貰う際に最も嬉しいと感じる条件

3-4. SNS 以外での承認欲求の満たし方

SNS 以外での承認欲求の満たし方についてほかのアイデアを問うた質問(問 5)は 68 人のうち 31 人から有効な回答が得られた。

最も多かった回答は「日常生活で会話すること」や「学校で友達と話すこと」などの普段の生活の会話の中で承認欲求を満たそうという方法が挙げられた。少数意見では「成績を上げることによって勉強面で認めてもらう」や「オンラインゲームでの対戦」なども挙げられた。

4. 考察

SNS の投稿の目的についての質問(問 3)では、自分たちが想定していた真逆の結果となり、「自分が特別な存在であることをアピールしたいから」と「自分の頑張りや功績を認めて欲しいから」という承認欲求と直接結び付く選択肢を選ぶ人は見られなかった。これらの選択肢が選びにくいような質問になってしまったからだと考えられる。また、SNS を利用している人と利用していない人では

承認欲求に対する意識は違ってくるはずなので、その違いに注目して質問する必要があった。問 4 では、「特定の知人から『いいね』をもらう」のが最もうれしいと感じるという人が多いことがわかり、SNS 上でも身の回りの友達との交流をすることが多いと考える。「全くの他人から『いいね』をもらう」のが最もうれしいと感じるという人が少なく、同じ趣味を持っている人との交流を SNS の主な利用の理由とする人は少ないと考えられる。SNS というシステムの性質上、匿名で長距離間の人とも文面上でコミュニケーションをとれるのでこの選択肢を選ぶ人もいと想定していたが、それよりも少ない結果となった。このことから、世間の、「SNS 利用＝承認欲求を満たすため」という印象に、本校 2 年生 1,2 組の生徒は当てはまらないことが分かった。この理由として、承認欲求を何かしらの別の方法で満たしている、または、性格上承認欲求や自己顕示欲が少ない生徒が多い、といったことが予想される。このことから対象人数を増やしたり、対象クラスや学年の幅を広げることで、さらに詳しく、一般的なデータを取ることができると予想される。

5. まとめと今後の課題

今回のアンケート調査では自分たちが目的としている承認欲求の原因について迫ることができなかった。アンケートの質問の内容が自分たちが必要としている結果を得られるようなものになっていなかったことが分かったので、アンケートの質問内容、質問形態を変更する必要がある。さらに今回の研究では、アンケートの内容を決めることや、インタビュー調査に時間を必要以上にかけてしまったため、予定していた追加のアンケート調査を実施することができないまま論文を作成することになってしまった。学年末のポスター発表までにはアンケート調査を実施して、さらに深くまで追求した研究内容を発表しようと思う。

6. 謝辞

この研究を行うにあたって、多くのご指導、ご教示をいただいた総合地球環境学研究所の研究員の方々、予備調査の際のインタビューを答えてくださった生徒の皆様、アンケートに答えてくださった洛北高等学校第2学年1,2組の生徒の皆様に深く感謝申し上げます。

7. 参考文献

正木大貴, 2018, 承認欲求についての心理学的考察:現代の若者とSNSとの関連から
現代社会研究科論集 = Contemporary society bulletin:京都女子大学大学院
現代社会研究科博士後期課程研究紀要
1号, 26 ページ.
総務省情報通信政策研究所, 2019.9.13, 総務省情報通信メディアの利用時間と情報行動に関する調査, https://www.soumu.go.jp/iicp/research/results/media_usage-time.html, 2020.2.6

FM ラジオの役割と再興

小川美優 中島由衣

要旨

今日、若年層におけるラジオ聴取率は減少傾向にある。このため、FM ラジオの若年層聴取率の向上と現代におけるラジオの役割の調査を目的に、アンケート調査及びインタビュー調査を用いて FM ラジオの役割と再興について研究を行った。結果、ラジオの役割は「災害時に正確な情報を届けること」、「聴取者に寄り添い、娯楽となること」だと考えられ、聴取率向上のためには、ラジオの特徴や地震発生時における利便性をさらに発信して行く必要があると考えられる。

1. はじめに

日本において、ラジオ放送局が誕生してからテレビが普及するまでの約 35 年間、ラジオは日本人の生活に溶け込み、情報収集のツールや、娯楽として人々に親しまれていた。しかし近年、テレビをはじめ動画投稿サイトや SNS (ソーシャル・ネットワークキング・サービス) の普及に対し、ラジオの聴取率は下降の一途をたどっている。(星暁子, 2016)。この事実を受け、私たちは現代におけるラジオの役割を調査するとともに、ラジオの聴取率を上昇させる方法について研究を進めることにした。

ラジオには主に、中波放送 (AM)、短波放送、超短波放送 (FM)、コミュニティ放送 (FM) の四種類が存在している。また、10 代から 20 代の若者のラジオ離れが進行していることもわかっている (星暁子, 2016)。そこで、本研究では聴取率向上を図る対象を中高生に設定し、彼らに AM ラジオよりも親しまれているであろう FM ラジオに限定することとした。

文献調査を行った結果、ラジオの役割とは、多くの人に素早く正確な情報を届けるという点と、地域の放送局を聞くことで地域に親しみを持つという点の 2 点であると考えた。この 2 点の役割を持つラジオは、生活の支えとなるメディアであり、積

極的に聴取すべきであると考えた。そこで、ラジオの聴取率を向上させるために、ラジオの役割や利点をさらに広く伝えることと、若者の使用率の高い SNS による情報発信にさらに力を入れる、といったことが必要であると仮定した。

この研究によって、中高生のラジオの聴取率向上に繋がる可能性があると思われる。

2. 研究方法

2-1. アンケート調査 1

中高生におけるラジオの聴取率と受信媒体を調査するため、本校生徒 220 人を対象に、次の項目を設置してアンケート調査を実施した。

問 1 で性別、問 2 でラジオの聴取頻度、問 3 では問 2 で「月 1 回以上聴取する」と回答した人に対してどのような時にラジオを聴取するのか、問 3 回答対象者に対し問 4 で 1 日のラジオの聴取時間、問 5 でラジオの聴取目的、問 6 でラジオを聴取する際に使用している受信媒体、問 7 で好きなラジオ番組のジャンル、問 8 でラジオの魅力について質問した。問 9 では問 2 で「月 1 回未満聴取する」と回答した人に対し普段ラジオを聴取しない理由について質問した。問 10 でコミュニティラジオを認知しているか、問 11 で彼らの考えるラジオの役割について質問した。

2-2. アンケート調査2

世代間のラジオに対する意識の違いを調査するため、本校教職員 38 人を対象に、次の項目を設置してアンケート調査を実施した。

問1で年齢、問2で回答者の考えるラジオの役割、問3でラジオの聴取頻度、問4では問3で「月1回以上聴取する」と回答した人に対し問4-1でどのような時にラジオを聴取するのか、問4-2で1日のラジオ聴取時間、問4-3でラジオの聴取目的、問4-4でラジオを聴取する際に使用している受信媒体、問4-5で回答者の考えるラジオの魅力について質問した。問5では問3で「月1回未満聴取する」と回答した人に対し普段ラジオを聴取しない理由について質問した。問6で中高生時のラジオの聴取頻度、問7では問6で「月1回以上聴取していた」と回答した人に対して問7-1で聴取していたラジオの種類、問7-2でラジオを聴取していた目的について質問した。

2-3. インタビュー調査1

ラジオ局におけるラジオ放送に対する意識や意義について調査するため、京都三条ラジオカフェ(NPO 京都コミュニティ放送)の藤本氏と松岡氏を対象に2019年11月19日にインタビュー調査を実施した。

インタビュー調査では、①普段ラジオ放送をする際に心掛けていること、②ラジオの魅力、③SNSの活用方法、④災害時の報道等の対応方法、⑤ラジオの役割、⑥今後の展望についての6点を主に質問した。

2-4. アンケート調査3

中高生における災害発生時の情報収集手段について調査するため、本校生徒220人を対象に、次の項目を設置してアンケート調査を実施した。

問1-1で「テレビ」、「SNS」、「新聞」、「インターネットニュース」、「ラジオ」(以下、5つのメディアと表記する)の5つのメディアを回答者が地震発生時に使用を検討する順番、問1-2では問1-1で回答者が1番に選んだメディアを選択した理由、

問2-1で5つのメディアを回答者が火災発生時に使用を検討する順番、問2-2では問2-1で回答者が1番に選んだメディアを選択した理由、問3-1で5つのメディアを回答者が洪水発生時に使用を検討する順番、問3-2では問3-1で回答者が1番に選んだメディアを選択した理由、問4で月に1回以上ラジオを聴取する回答者に聴取しているラジオの種類について質問を設置した。

2-5. インタビュー調査2

ラジオ局におけるラジオ放送に対する意識や意義について調査するため、FM802にてDJを務める落合氏とFM802にて番組制作に携わる吉田氏を対象に2020年1月16日にインタビュー調査を実施した。

インタビュー調査では、インタビュー調査1と同じ質問を主に行った。

3. 結果

3-1. アンケート調査1の結果

3-1-1. 中高生のラジオ聴取頻度・方法

ラジオの聴取頻度を質問した問2に対し「全く聞かない」と回答した人は全体の34%を、「ほとんど聞かない」と回答した人は全体の19%を占めたが、「毎日」と回答した人は全体の4%、「ほぼ毎日」と回答した人は全体の5%に留まった。

また、問6よりラジオを聴取する際に1番使用されている機器は据え置き型であったが、2番目に使用率の高いカーラジオと僅差であった。

3-1-2. 中高生がラジオを聴取する目的

ラジオの聴取目的を質問した問5に対し「音楽を聴くため」と回答した人が31人と一番多く、「特定のアーティストなどの番組を聞くため」に27人、「BGMとして」に24人と続いた。

また、回答者の考えるラジオの魅力について質問した問8に対し「別のことをしながら聞ける」と回答した人が47人と一番多く、「様々な音楽を聴ける」に44人、「無料で音楽が聴ける」に29人と続

いた。「災害情報をいち早く聞ける」に 9 人、「その他」に 5 人、「ローカル局が多い」に 4 人、「リクエストや意見がすぐに反映される」に 4 人に留まった。(無回答は 2 人)

3-1-3. 中高生がラジオを聴取しない理由

ラジオを聴取しない理由を質問した問 9 に対し「興味がない」と回答した人の多さが目立ち、「テレビの方がいい」、「ネットの方がいい」と続いた。

3-1-4. 中高生の考えるラジオの役割

回答者の考えるラジオの役割を質問した問 11 に対し 147 人が「災害報道」と回答し、「音楽メディア」に 102 人、「ニュースや天気予報などの情報収集」に 93 人、「余暇の充実」に 83 人、「地域に根差した放送」に 39 人、「その他」に 8 人と続いた(無回答は 9 人)。

3-2. アンケート調査 2 の結果

3-2-1. 大人の考えるラジオの役割

回答者の考えるラジオの役割を質問した問 1 に対し 26 人が「災害報道」と回答し、「情報収集」に 25 人、「音楽メディア」に 24 人、「余暇の充実」に 15 人、地域に根差した放送に 14 人と続いた。また、20~40 代は「災害報道」と「音楽メディア」、50~60 代は「情報収集」が多い傾向がみられた。

3-2-2. 大人のラジオの聴取頻度・方法

ラジオの聴取頻度を質問した問 3 に対し「ほとんど聞かない」と回答した人は全体の 24%を、「全く聞かない」と回答した人は全体の 16%を占めたが、「毎日」と回答した人は全体の 5%、「ほぼ毎日」と回答した人は全体の 11%に留まった。

また、ラジオを聴取する際に使用する機器を質問した問 4-4 に対し「カーラジオ」と回答した人の多さが目立った。

3-2-3. 大人のラジオを聞く目的

ラジオの聴取目的を質問した問 4-3 に対し「音楽を聴くため」と回答した人が 12 人と一番多く、「気分転換のため」に 10 人、「情報収集のため」に 8 人と続いた。また、「特定のアーティストの番組を聞くため」という回答は少なく、「災害時に役立て

るため」、「プレゼント応募のため」は 0 票だった。

また、ラジオの魅力を質問した問 4-5 に対し、「別のことをしながら聴ける」と回答した人が 12 人と多さが目立った。「様々な音楽が聴ける」に 8 人、「交通情報が聴ける」に 7 人と続いた。

3-2-4. 大人がラジオを聴取しない理由

ラジオを聴取しない理由を質問した問 5 に対し、「興味がない」と回答した人が 7 人と 1 番多く、「テレビのほうがいい」、「聴取機器がない」に 6 人と続いた。また、20~40 代は「聴取機器がない」という回答が多くみられた。

3-3. インタビュー調査 1 の結果

①の質問に対して藤本氏は「放送者がルールの範囲で自由に発信できるようにすること」と「発信する理由を放送者が言葉にできるようにすること」と回答した。また、②の質問に対して「声のみであること」「程よい発信力」「生身の人間が発信していること」「嘘がつけないこと」と回答した。さらに③の質問に対して「特に意識しておらず、放送者のお知らせの拡散のみである」と回答した。また、④の質問に対して「NHK の放送と、京都市の危機管理室から FAX で届く避難指示や避難勧告を原稿化し放送で読み上げる」「スタッフの安全を第一に考えること」「アナウンスは正確性を大事に、発表されてからにすること」「地域への細かな指示を報道できる」と回答した。さらに、⑤、⑥の質問に対して「限られた放送範囲だからこそ、地域で暮らす人々がよりよく生きられるようにするお手伝い」「地域の活性化」と回答した。

3-4. アンケート調査 3 の結果

3-4-1. 中高生が地震発生時に利用しようとするメディア・理由

地震発生時に利用しようとするメディアを質問した問 1-1 に対し、「テレビ」と回答した人は全体の 34%、「SNS」と回答した人は全体の 29%を占めたが、「ラジオ」と回答した人は全体の 12%、「新聞」と回答した人は全体の 2%に留まった。

また、そのメディアを選択する理由を質問した問

1-2 に対して、「素早さ」と回答した人が多く、次に「正確さ」と回答した人が多かった。

3-4-2. 中高生が火災発生時に利用しようとするメディア・理由

火災発生時に利用しようとするメディアを質問した問 2-1 に対し、「SNS」と回答した人は全体の 40%を占めたが、「ラジオ」と回答した人は全体の 5%、「新聞」と回答した人は全体の 3%に留まった。

また、そのメディアを選択する理由を質問した問 2-2 に対して、「素早さ」と回答した人の多さが目立った。次に、「アクセスの利便性」、「使いやすさ」と回答した人が多かった。

3-4-3. 中高生が洪水発生時に利用しようとするメディア・理由

洪水発生時に利用しようとするメディアを質問した問 3-1 に対して、「テレビ」と回答した人は全体の 37%、「SNS」と回答した人は全体の 29%を占めたが、「ラジオ」と回答した人は全体の 10%、「新聞」と回答した人は全体の 1%に留まった。

また、そのメディアを選択する理由を質問した問 3-2 に対して、「素早さ」と回答した人の多さが目立った。次に「正確さ」、「使いやすさ」と回答した人が多かった。

3-5. インタビュー調査 2 の結果

①の質問に対して落合氏は「誰も傷つかず、嫌な思いをしないようにすること」と「時間帯によって聞いている層が違うため、喋り方やテンションを使い分け、流す曲を変えること」と回答した。また、②の質問に対して、「自分が知らなかったことを知ることができる」、「ラジオはほんわかしている」、「生身の人間がいつでも誰か話しているため、安心感を得ることができる」、「見えないからこそよくわかる」、「フットワークの軽さ」と回答した。さらに、③の質問に対して落合氏と番組製作スタッフは「普段聞かない人に SNS を利用して番組内容を届ける」、「出演アーティストと番組公式の SNS で拡散することで二重の拡散となり、拡散力が強い」、

「耳からだけでなく目からも情報として届ける」と回答した。また、④の質問に対して「震度 5 弱で自動的に緊急放送に切り替わる」、「情報が入り次第すぐに伝える」、「自動で適切な行動を促すアナウンスをする」と回答した。また、インタビュー後の調査で、MBS と災害情報共有パートナーシップを結び、災害や緊急事態が発生し、大きな影響が出た、或いは出る恐れがある場合、情報の交換および情報の共有を行い相互の防災・災害報道の充実を図っていることも分かった。さらに、⑤について落合氏は「災害時にテレビやインターネットがつかない時でもラジオなら聞くことができる」、「深夜、早朝といった活動している人が少ない時間でも放送しており、コーナーでだいたいの時間がわかるため、リスナーの日常に寄り添っている」と回答した。そして、⑥の質問に対して「様々な場所・デバイスに広がってほしいが、広がりすぎなくてもいいかもしれない」、「変わらずにいい音楽を届けたい」、「数字に左右されない」、「聞いている人との関係が強くなるようなものであってほしい」と回答した。

4. 考察

アンケート調査 1, 2 より、2019 年現在人々はあまりラジオを聞いておらず、中高生のラジオを聞かない理由が「興味がない」、「テレビのほうがいい」といった回答が多かったことから、中高生の聴取率を上げるためには、インターネットやテレビといった映像媒体にはない魅力を発信していくことが重要だと分かった。また、災害時に必要なメディアとして認識されているが、地域に密着することを重視されていない点から、災害を自分たちの日常と結びつけることができていないのではないかと考える。また、聴取者の考えるラジオの役割は災害情報などの情報伝達と、娯楽であると考えられる。

アンケート調査 3 より、中高生が災害発生時に利用するメディアは、テレビと SNS であることが分かった。また、「素早さ」をどの災害が起こっても一

番重要視していることも分かった。地震時に重要視されている点が「素早さ」、「正確さ」であり、ほかのメディアと比べて、ラジオがその2点において優れていると考えられるため、あまり意識されていないが、ラジオは地震の際に中高生のニーズに合ったメディアだと考えられる。

インタビュー調査 1, 2 より、ラジオ局の考えるラジオの魅力は「声だけであること」、「生身の人間が発信していること」、「安心感を得ることができること」だと分かった。また、どちらの局でも災害時には外部機関と協力し、聴取者に正しい情報を発信していて、超短波放送局では聴取者全体に向けて、コミュニティ放送局では放送範囲の地域に特化して情報を発信していることも分かった。さらに、超短波放送局とコミュニティ放送局とでは、ラジオに対する認識が異なっていることも分かった。今回のインタビューより、ラジオ局の考えるラジオの役割は「災害時に情報を伝えるメディアである」、さらに超短波放送局は「聴取者の日常に寄り添う」、「いい音楽を届ける」コミュニティ放送局は「地域に寄り添い活性化させる」、「発信する機会を平等にする」ということだと考える。

5. まとめと今後の課題

本研究から、現代におけるラジオの役割は「災害時に正確な情報を届けること」、「聴取者に寄り添い、娯楽となること」であると考えられる。また、超短波放送局は「聴取者の日常」に、コミュニティ放送局では「地域の人々」に特に寄り添うことが役割であると考えられる。

ラジオの聴取率を向上させるためには、聴取者に対しては、まずラジオに興味を持ってもらうために、映像媒体にはないラジオの魅力である「生身の人間が、声だけで発信しているため、別のことをしながら聴くことができ、安心感を得ることができる」ということを広めることと、ラジオの地震発生時における利便性を広めることが重要だと考える。ラジオ局に対しては、「SNS」をより有効的に活用し、

ラジオの魅力、今行っていることを発信していくことが重要だと考える。

「SNS を利用してラジオを広めていく具体的な方法」を調査するということが今後の課題であると考えられる。また、不十分な事前調査のため、余計な時間をかけてしまったことも今後改善していきたい。

ラジオの聴取率が下がってきている今、本研究をもとにして、ラジオの魅力・地震発生時における利便性を広め、聴取率向上に努めていきたい。

6. 謝辞

今回の研究にあたり、インタビュー調査にご協力いただいた京都三条ラジオカフェ(NPO 京都コミュニティ放送)の理事・放送局長の松岡様、藤本様、FM802 802 編成部副部長の今江様、FM802 DJ の落合様、FM802 802 編成部の堀川様、有限会社 BE-WITH の岡井様、吉田様をはじめ、アンケート調査にご協力いただいた洛北学校2年1~6組・洛北高校附属中学校2~3年の生徒の皆様、本校の教職員の皆様に深く感謝します。

7. 参考文献

- 星暁子, 2016, データでみるラジオの聞かれ方. NHK 放送文化研究年報 2016, P7-12.
- 東建コーポレーション株式会社, 2018, 【ラジオのしくみ】ラジオの受信と周波数. <https://www.homemateresearch.com/bc185/tvlog/155/#i-3>, 2019. 9. 30
- FM802, 2020, MBS との災害情報共有パートナーシップについて. <https://funky802.com/pages/partnership.php>, 2020.1.16

課金で環境を変えよう！

～ SDGs の取り組みについて ～

堀川琴音 村上涼世

要旨

私たちは近年、注目度が高まっている持続可能な開発目標（SDGs）に着目した。そこで、一般的に仮想世界でのやり取りを想定した「課金」を現実世界に取り入れ、SDGs を活用することはできないかと考え、本調査を行った。その結果、アンケート対象者は私たちの生活に密接している SDGs の目標に対して興味を持つ傾向があった。このことから、それらの目標を活用した取り組みが成果をあげられると考えた。

1. はじめに

持続可能な開発目標 (SDGs) とは、2001 年に策定されたミレニアム開発目標 (MDGs) の後継として、2015 年 9 月の国連サミットで採択された「持続可能な開発のための 2030 アジェンダ」にて記載された 2016 年から 2030 年までの国際目標である。持続可能な世界を実現するための 17 のゴール・169 のターゲットから構成され、地球上の誰一人として取り残さない (leave no one behind) ことを誓っている (外務省 <https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/sdgs/about/index.html>)。

世界で砂漠化の危害が最も深刻な国の一つと言われている中国の森林率は、1949 年の 9 パーセントから現在の 20 パーセント近くに上昇し、土地の砂漠化に効果的な逆転が生じた。この森林率の上昇に貢献している取り組みとして、主に中国でオンライン決済サービスの業務をしている、アント・フィナンシャルのアリペイの 1 つの機能「アントフォレスト」があげられる。「アントフォレスト」とは、ユーザーがサーバー上で木を育て、ある一定の基準を超えると実際に現実世界に木が植えられ、植林した木には特定可能な番号が付与され、ユーザーは衛星写真で送られてくる自分が植林した木の映像を通じて成長プロセスを確認すること

が出来るといふしくみである。この取り組みは SDGs の目標 13 (気候変動に具体的な対策を) と目標 15 (陸の豊かさを守ろう) についての解決行動と私たちは考えた。そして、私たちが生活をしている京都市では日本経済新聞の「全国市区・サステナブル度・SDGs 先進度調査」(日経グローバル誌掲載)において、首位として紹介された(京都市 <https://www.city.kyoto.lg.jp/sogo/page/000024-6584.html>)。

このことにより、「アントフォレスト」のような取り組みを日本でもすることが出来ないかと考え、京都市で積極的に取り組まれている SDGs を活用しようと考えた。

2. 材料・研究方法

2-1. 研究試料

今回の研究において、SDGs で提示されている 17 の目標のうち 8 個 (貧困・飢餓・健康・水・エネルギー・気候変動・海洋・陸上資源) の目標を対象とした。その選択方法は国際連合広報センターのホームページに掲載されている、それぞれの目標についての記事の中に解決方法として金銭が示されているものとした。1 回目のアンケートは「所持金は 5000 円で一度だけ課金するとしたら」という質問で行った。2 回目のアンケートは提示されて

いる金額を月額に換算し、「定期的に目標に課金していくとしたら」という質問と共に「それぞれの目標に対する関心度」も合わせて質問した。月額換算の計算方法は「提示されている金額」÷「25億(世界の人口約 3 分の 1)」×110(為替レート)÷12 ヶ月とした。また、「健康」で提示されている金額は「毎年 100 万人の子供が予防接種を受けることができる」金額なため予防接種を必要としている子供たちを 1 億人と仮定した。「海洋」については年間で定期的に必要な金額を対象としており、一度限りの金額は対象としていない。「陸上資源」については金額の幅が広がったため、提示されている最高金額を対象とした。

2-2. 研究方法

1 回目のアンケート調査の対象は、京都府立洛北高等学校 2 年 71 名。2 回目のアンケート調査の対象は、京都府立洛北高等学校 2 年 76 名と 11 月 9 日に開催された第 2 回京都サイエンスフェスタに参加した府立高校生 27 名その他参加者 3 名、計 106 名とした。

3. 結果

3-1. SDGs についての意識調査アンケート①

「水」が最も課金額が多く、気候変動が最も課金額が少なかった。また、「貧困」と「エネルギー」の課金額の差は 1000 円であった(図 1)。そして、2500 円以上課金した人を焦点に置くと「貧困」は 1 人 4000 円、「エネルギー」3 人 5000 円 3000 円 2500 円であった(図 2, 図 3)。これより、「貧困」は多数の人が少額課金し、「エネルギー」は少数の人が多額課金したと考えられる。

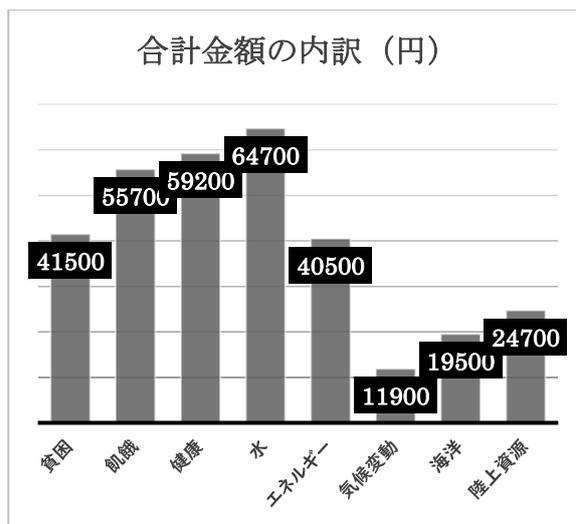


図 1. 合計金額の内訳

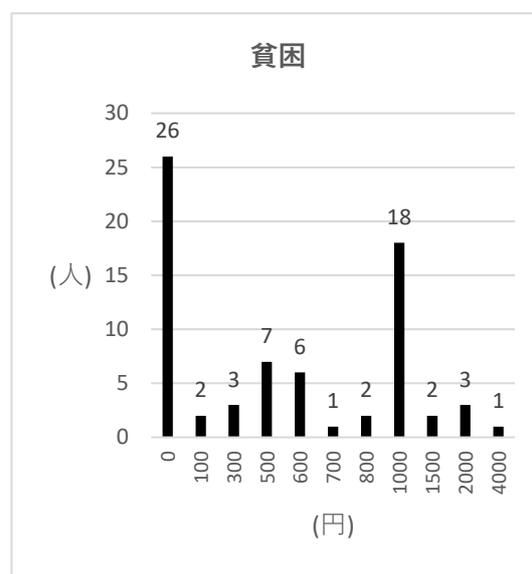


図 2. 金額別人数の内訳 (貧困)

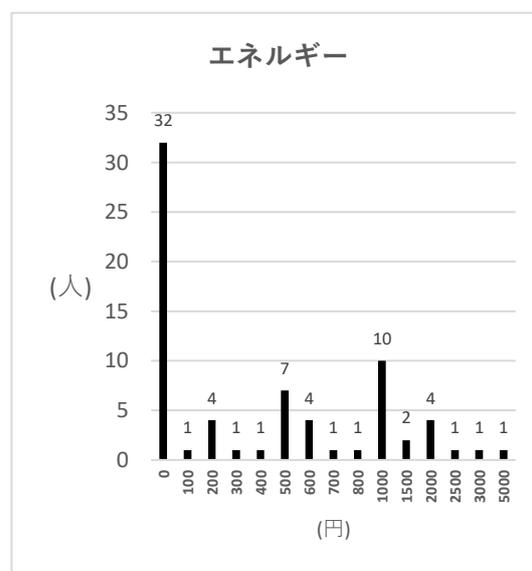


図 3. 金額別人数の内訳 (エネルギー)

3-2. SDGs についての意識調査アンケート②

2 回目のアンケートでは「健康」が最も課金率が高く、「気候変動」が最も課金率が低かった。毎月の課金額が低い 4 つの項目は、課金率の上位 4 項目であった(図 4)。「飢餓」が最も関心度が高く、「エネルギー」が最も関心度が低かった(図 5)。

4. 考察

この 2 回にわたるアンケートにより、対象者は「健康」や「水」などに関心度また課金意欲が高いといえる。「健康」は、あらゆる年齢のすべての人の健康な生活を確保し、福祉を増進する(国連広報センターhttps://www.unic.or.jp/news_press/info/24453/)ことが目標である。例としては、予防可能な病気の予防接種の提供を掲げている。そのようなことから、医療品は私たちの生活に欠かせないものであるため、関心度が高いと考えられる。また、医療品は費用が掛かるというイメージがあるため課金する抵抗が少ないと考えた。「水」は、すべての人が安全水源と衛生施設を利用できるようにする(国連広報センター https://www.unic.or.jp/news_press/info/24453/)ことが目標である。例としては、基本的な水道・衛生サービスを未供給の人々に普及するなどがあげられる。そのようなことから、「水」は私たち人間の生命活動維持のためには必要不可欠であるため、関心度も高く、課金意欲も高かったのではないかと考えた。

同様に「貧困」と「飢餓」も関心度・課金率共に高かった。「貧困」は 2030 年までにあらゆる形態の貧困に終止符を打つこと(国連広報センター https://www.unic.or.jp/news_press/info/24453/)が目標である。「飢餓」は飢餓に終止符を打ち、食料の安全確保と栄養状態の改善を達成し、持続可能な農業を促進する(国連広報センター https://www.unic.or.jp/news_press/info/24453/)ことが目標である。これら 2 つの目標は人間の死に直結しているため無意識のうちに目標を達成する必要性を多くの人々が感じたのではないかと推

測される。

金額を自由に設定できる 1 回目のアンケートでは、「海洋」は 2 番目に合計課金額が少なかった。しかし、金額が設定された 2 回目のアンケートでは 3 番目に課金率が高かった。この設定された金額は、8 項目のうちで一番低い金額だった。このことから、「海洋」に関心がなくとも金額が低ければ課金されるということがわかり、金銭が人に与える影響は大きいと推測される。

一方で、1 回目と 2 回目のアンケートでは共に「気候変動」は関心度が低く、課金率が低かった。「気候変動」は気候変動とその影響に取り組むため、緊急の対策をとる(国連広報センター https://www.unic.or.jp/news_press/info/24453/)ことが目標である。例としては、エネルギー、産業、輸送、食料、そして農林業のシステムを変革することで地球の平均気温の上昇を抑えることである。

「気候変動」は最も提示額が高く、早急に取り組まなくてはいけない目標である。しかし、今日の日本では世界で良くない気候変動が起きているということを感じにくいということに加え、設定された金額が最も高かったため関心度、課金率共に低くなったと考えられる。

このような結果から、「アントフォレスト」のような「陸上資源」と「気候変動」に関する SDGs が提示している問題についての解決行動は対象者に対しては難しいと考えられる。しかし、関心度・課金率共に高かった「健康」や「水」に焦点を当てれば可能なのではないかと考えた。

5. まとめと今後の課題

今回の研究により、対象者は「健康」「水」などの私たちの生活に直結している目標に対して興味を持っているということが分かった。また、「気候変動」などの環境に対する目標に対しては興味があまり示されなかった。

このことから「アントフォレスト」のような取り組み

ではなく、日々の生活に接していることについての取り組みのほうで成果をあげられるのではないかと考える。

また、今回のアンケート対象者は高校生が大半を占めており、人数も少なかったため金銭に対する感覚が経済的に自立している人とは違ったため意見が偏ってしまった可能性がある。今後は人数や世代を増やしアンケートの回数を重ね、より効果的なデータを収集していきたい。同様に、「アントフォレスト」のような仕組みを備えた取り組みを具体化していきたいと考えている。

6. 謝辞

この度私たちの研究にあたって多くのご指導をご教示頂いた総合地球環境学研究所の연구원の方々、本校の先生方。そしてアンケートにご協力頂いた洛北高等学校 2 年生 1, 2 組の生徒の方々、サイエンスフェスタにご参加された皆様に深く感謝致します。

7. 参考文献

- Glo Tech Trends.2019, <https://glotechtrends.com/ant-forest-alipay-171208/>, 2019.
7.11
- SciencePortal China.2019, https://spc.jst.go.jp/news/190701/topic_3_05.html , 2019.
7.11
- 京都市.2019, <https://www.city.kyoto.lg.jp/sogo/page/0000246584.html>, 2019.7.18
- 外務省.2019, <https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/sdgs/about/index.html> , 2019.
7.18
- 国際連合広報センター, 2019, https://www.un.org/ja/news_press/info/24453/ , 2019.7.11

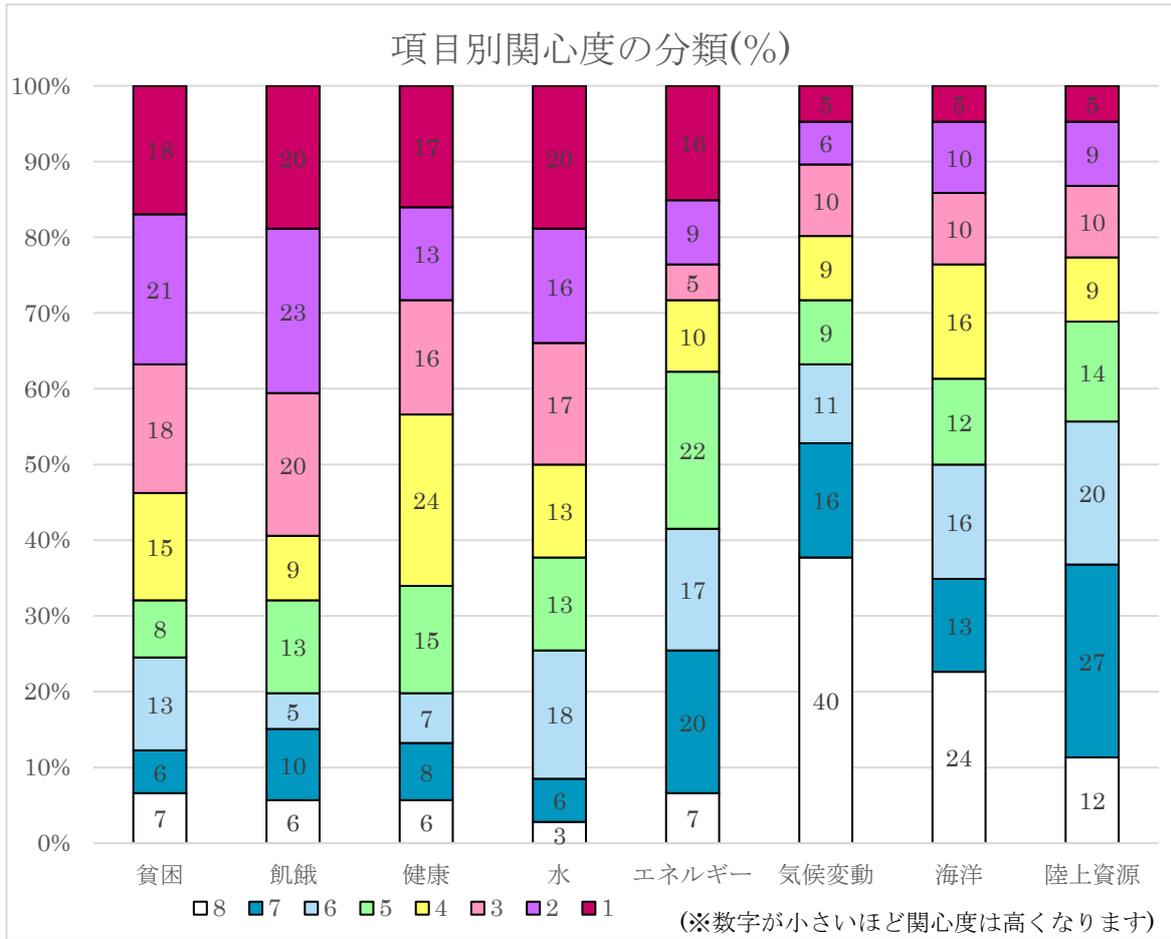


図 4. 項目別関心度の分類

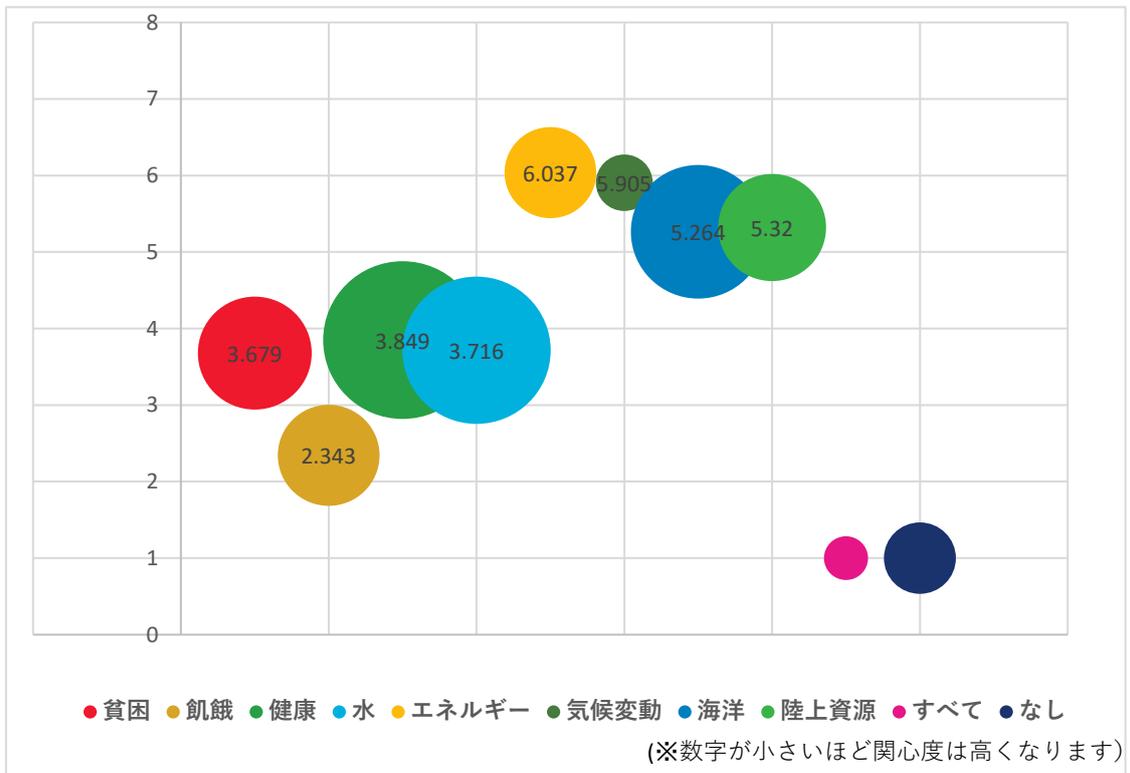


図 5. バブルチャート (縦軸: 関心度(すべて・なしは 1) 円の大きさ: 課金人数)

中高生への囲碁普及の具体的方策

武谷謙吾 谷口晶星 樋川遥香 森田拳

要旨

中高生へ囲碁を普及することを目的として、洛北高校および附属中学校の生徒を対象にアンケート調査を行った。その結果から、囲碁を普及するためには、囲碁と触れ合ったときに魅力を理解してもらえるようなわかりやすいルール説明が必要だとわかった。

1. はじめに

囲碁は中国から伝来し、日本において発展した伝統的なボードゲームである。ところが、囲碁人口に関する先行研究によると、近年、囲碁競技者は減少の一途を辿るばかりである(図 1)。尚、2009 年における急激な増加は、インターネット調査の開始によりネット対局者も計上されるようになったことに起因する。

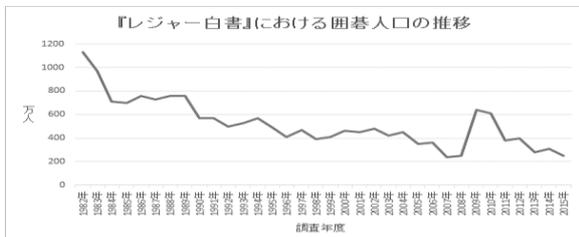


図 1 囲碁人口の推移(囲碁データベース HP より)

さらに、他種娯楽と比べても囲碁はその競技者の高齢化が著しく、将来的な競技人口の更なる激減が懸念される(図 2)。

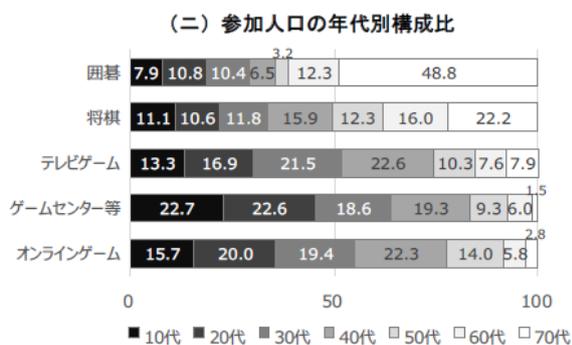


図 2 囲碁人口の年代別構成比(囲碁データベース HP より)

ス HP より)

この現状を受けて、本研究では、日本古来のボードゲームである囲碁を後世に伝えるために、囲碁を若い世代に普及させる具体的な方策を提案することを目的とした。

図 1, 図 2 にみられる傾向に従って中高生においても囲碁の競技人口は少ないこと、また昨今の娯楽の多様化により中高生は囲碁、あるいはボードゲーム全体に対し触れ合う機会が少ないことが予想されるため、囲碁の魅力を彼らに届ける場の設定が求められると考えた。

普及に関する具体的な方策を設定するために、囲碁についての現状を把握する必要があるため、若年層に対してアンケート調査を行うことにした。

2. 研究方法

中高生の囲碁のプレイ状況と囲碁に対する印象を調べるため、本校の中学生 231 人と高校 1 年生 195 人を対象に次の項目を設置してアンケートを実施した。

問一では囲碁のプレイ経験について質問した。問二では問一で「囲碁をプレイしたことがある」と答えた人を対象としてルールを知ったきっかけを、問三では囲碁をする知人について、問五では囲碁以外で好んでプレイするボードゲームやカードゲームを複数選択可で質問した。問六では囲碁に対する印象を、「楽しい」「難しい」「賢そう」「老

人向け」「伝統的」「地味」という六項目について、七段階評価してもらった。そして、問七では囲碁に対する印象を、問八では囲碁に足りないものを、自由記述式で質問した。

なお、問四では、ボードゲーム、カードゲーム、スマートフォン上でのゲーム、その他の遊びという四項目についてよく遊ぶ順番を決めてもらったが、有効回答数も少なく、集計においても課題が発生したため、以降は言及しない。

3. 結果

3-1. 中高生の囲碁競技者

囲碁のプレイ経験について質問した問一の結果は、有効回答数 424 人に対し、経験のある人が全体の約 22%，ルールを知っていると答えた人が 5%，経験がない人は 73%となった。

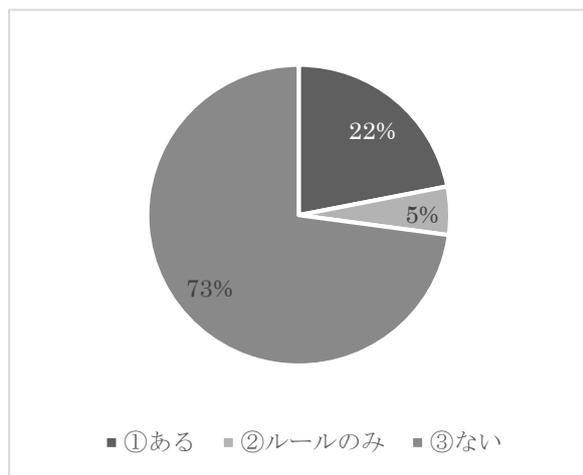


図 3 囲碁経験者の割合

また、それぞれのクラスで大きな偏りが見られた。例えば、囲碁をしたことがあると回答している人数は、中学校 1 年生 B 組においては半数の 18 人に対し、A 組では 6 人である。また、高校生のクラスでは、すべてのクラスにおいて 7 人以下であった。

3-2. 囲碁と触れ合う機会

囲碁のルールを知ったきっかけを質問した問 2 の結果は、119 人の回答のうち、小学校が一番多

く 32%，次点で家庭が 24%，中学校が 13 パーセント、道場等が 11%，その他が 20%となった。

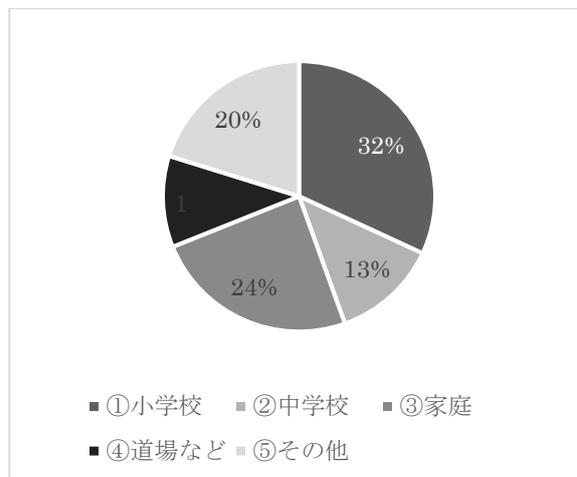


図 4 経験者の囲碁を知った機会の内訳

また、囲碁をしている知人について質問した問 3 の結果は、398 人の回答のうち、同世代が 118 人、祖父母世代が 97 人と一線を画しており、父母が 46 人、その他が 58 人となった。

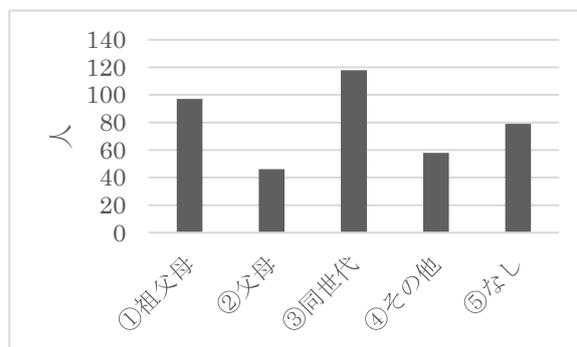


図 5 知っている囲碁をする人の内訳

3-3. 中高生が好む卓上ゲーム

問五では、囲碁以外のボードゲーム・カードゲームで好んでプレイするものを複数回答可で尋ねた。様々なゲームが挙げたが、とりわけ多かったのは、トランプ等 (261 人、62%の人が良くプレイすると回答)、UNO (60%)、オセロ (59%)、人生ゲーム (47%) であった。また、問一の結果と比較して、囲碁をプレイする人を 93 人とすると、囲碁よりも人気なのは上記の四つに加えて将棋 (140 人、

333%), すぐろく(109人, 26%)となった。

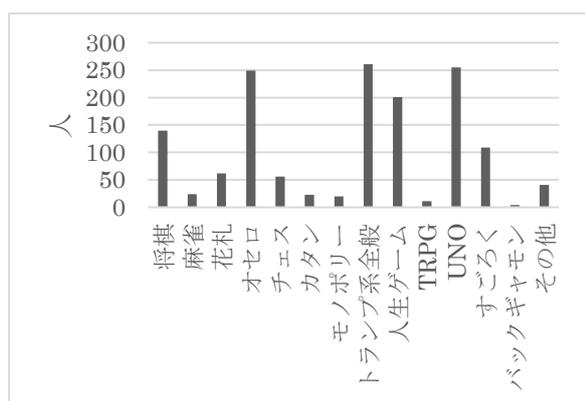


図 6 中高生がよくプレイする卓上ゲーム

3-4. 囲碁に対する印象

問六では囲碁に対する印象を六項目七段階評価で質問した。問一の結果から分類して、結果を「経験者」「ルールのみ知っている者」「非経験者」の三つに分けて表1～表3に示す。なお、1のほうは「そう思う」、7のほうは「そう思わない」である。

表 1 囲碁に対する経験者の印象(人数)

	1	2	3	4	5	6	7
楽しい	18	11	21	22	4	4	3
難しい	26	25	9	12	3	3	5
賢そう	24	14	16	17	4	4	4
老人向け	10	11	12	19	13	6	12
伝統的	25	19	13	19	3	1	3
地味	11	9	10	27	7	7	12

表 2 囲碁に対するルールを知る人の印象(人数)

	1	2	3	4	5	6	7
楽しい	0	4	3	11	2	0	0
難しい	6	8	2	4	0	0	0
賢そう	9	5	4	2	0	0	0
老人向け	1	1	7	6	0	3	2
伝統的	6	5	3	4	1	1	0
地味	1	4	5	4	4	1	1

表 3 囲碁に対する未経験者の印象(人数)

	1	2	3	4	5	6	7
楽しい	17	24	48	100	37	19	23
難しい	133	71	22	20	8	8	9
賢そう	120	74	29	23	10	6	9
老人向け	42	40	50	74	32	16	17
伝統的	89	60	48	42	16	9	7
地味	33	42	49	87	32	12	16

問七では、囲碁に対する印象を自由記述で質問した。経験者・非経験者問わず様々な意見が寄せられた。多く寄せられた意見を挙げる。

経験者からは、「(競技時間が)長い」という意見が一番多く、ほかには「ルールはわかるが打ち方がわからない」「競技者が少ない」といった意見が挙げられた。

非経験者からは、「ルールがわからない」「難しい」という意見がとて多く寄せられた。また、「囲碁を始める機会がない」「始めにくい」という意見も多く見られた。「ほかの競技(将棋, オセロ)に似ている」といった意見や、「時間がかかる」といった意見もみられた。「白黒」など、囲碁の石に関するものも挙げられた。

問八では、「囲碁に足りないもの」について自由に記述してもらった。

経験者からは、「ルールのわかりやすさ」「簡単さ」などといったルールの難しさを改善するべきという意見や、「身近さ」といった囲碁に触れ合う機会が少ないことを指摘する意見、「知名度」「人口」などプレイ人口が少ないことを欠点とする意見、また「色彩」「おしゃれさ」など、見た目を改善するような意見などが多く上げられた。

非経験者からは、経験者と同じく「知名度」「人口」といった人口の少なさを指摘した意見が一番多く、ほぼ同数で「触れる機会」「手軽さ」といった囲碁と触れる機会がないという意見もあった。「魅力がない」という意見も多く見られた。そのほかには、「色」「見た目」といった意見や、「ルールの普及」というルールが一般的でないことを指摘する意見、「ルールが難しい」という意見などがあつた。

4. 考察

囲碁競技者数について調査した問一では、全体の22%が囲碁のプレイ経験があるとわかった。先行調査の、10代の囲碁人口は7.9%という調査結果と比較すると、洛北高等学校および附属中学校においては約3倍にもものぼる数値である。ただし、当学校には囲碁将棋部があり、関西の高校で囲碁部が存在する割合は約2割であることを考えると、この程度が妥当なのかもしれない。また、図3,5に示したように、クラスによってかなり大きな差があることから、囲碁は小規模な集団内で、身近な仲間との間で広がるものなのではないか、と考えられる。このことは、問二において、小学校や家庭において囲碁を知った人が多いということの要因としても考えられる。

問三の結果では、知っているプレイヤーは、同世代と祖父母世代に突出して多かった。また、問一との回答数の比較から、半数以上の中高生は囲碁をする知人を持つ、と分かった。ここから、中高生には囲碁との接触の機会・経験はある程度であると推測される。

囲碁に対する印象を質問した問六では、「難しい」「賢そう」「伝統的」という三項目について、それぞれ72%、68%、55%が「そう思う」である1,2と回答したのに対して、「楽しい」という項目では、66%が中程度の3-5と回答しており、中高生には囲碁が楽しいかどうかわからない人が大半だと考えられる。経験者と非経験者に分けての分析では、「楽しさ」「伝統的」という印象が経験者には強まる一方、「難しい」「賢そう」「地味」という三項目では非経験者において印象の強まりが見られた。このことから、囲碁は、プレイしたことのない人にとっては、地味で難しく、賢い人向けのゲームだと感じられているといえる。また、経験者においても全体において強く出た傾向は引き継がれており、プレイ経験によっても「難しい」「賢そう」といった印象が消えることはないようである。

問七・問八からは、経験者・非経験者において

多少の差異が認められたものの、総じて「囲碁のルールが難しい」「囲碁に触れる機会がない」「囲碁に魅力を感じられない」という三点が多くみられた。問七においては肯定的なイメージがかなり少なく、否定的なイメージが大部分を占めていることから、囲碁へあまり良い印象はないことがわかる。また、その原因は、おもに囲碁というゲームが難しく、楽しさを感じられないことだと考えられる。

以上の考察から、洛北高校の中高生は囲碁との接点がある程度有しているものの、その機会においてあまり親しみやすい印象を受けていないと考えられる。このことから、中高生へ囲碁を普及するにあたって、非経験者が囲碁と接触した際に囲碁の魅力を表現することが大切だと考えられる。これを実現するためには、初心者が囲碁というゲームのルールを理解しやすいようなルール説明方法を体系化し、それを普及することが必要だ、と考えられる。また、囲碁を継続して行えるような環境づくりも必要である。具体的には、小学校・中学校への囲碁部の設置の推進があげられる。

囲碁との触れ合う機会の創出、囲碁のルール説明の改善、囲碁を行える環境の整備の三つを行うことによって、囲碁の中高生への普及は進むと考えられる。

5. まとめと今後の課題

囲碁の現状について把握するために、本校生徒へアンケート調査を行った。その結果、囲碁を普及するには囲碁と触れ合ったときに魅力を理解してもらえるようなわかりやすいルール説明が必要だとわかった。小学校・中学校に囲碁部を設置することと、囲碁のわかりやすいルール説明の体系を整え広めることで、囲碁の普及を進められると考えられる。

課題として、得られたデータの分析が不十分であることがあげられる。経験者・非経験者だけでなく、問六の印象の各項目についても分けて、その相関関係を調べることによって、より詳しい情報が

得られると予想される。また、このデータは洛北高校及び附属中学校に関してのものであって、ほかの学校では異なるデータが得られると考えられる。

今後は、囲碁のわかりやすいルール説明を考案して体系化し、それを伝播していきたい。

6. 謝辞

この度私たちの研究にあたって、アンケートにご協力いただいた洛北高校附属中学校及び洛北高校1年1組、3～6組の生徒の皆様に深く感謝いたします。

7. 参考文献

tmm440, 2016. 9. 1, 「Go-Up!」における囲碁普及の課題と可能性(その 1・囲碁人口の推移と現状), <https://tmn440.hatenablog.com/entry/20160901/1472712040>, 2019. 5. 16

文科系の部活がある関西の高校:特集 | 関西 | 高校受験情報の「スタディ」, 2019. 5. 23

防災ボードゲームの開発

東谷航平 三浦可惟 矢賀環規

要旨

本研究のテーマは幼少期からの防災意識の向上を目的としたボードゲームの開発である。より親しみやすく、防災知識を効率的に得ることができるボードゲームをつくるため、これまでの人気ボードゲームの特徴を分析し、テストプレイを重ねることによって理想のものへと近づけた。私たちのボードゲームは二人以上でプレイし、自分の生存をかけて災害に抵抗するという形のものである。

1. はじめに

高校生の私たちなら東日本大震災を経験している世代であるから、自然災害の持つ凄まじい力を知っているはずである。学校でも避難訓練は行われるほか、実際に地元の消防局の人が来て直接話をしてくれる機会があるなど防災に備えた取り組みは十分に行われているように思われる。一方で、実質の災害に対応する能力の伸び幅のことを考えると、霧にかすんでいと思う。だが、それは幼い頃からの経験があれば将来このような訓練の効果を高めることができると私たちは考えた。幼い頃というのを上限 8 歳と想定する。総合地球環境学研究所を訪問した時に、ボードゲームを作って現実問題を知ってもらうという興味深い事をしていたので引き継ぎ、災害版ボードゲームをつくることにした。『防災教育用対戦型ボードゲームの開発(飯塚裕介, 長原慎一, 内山翔太, 川村能勝, 末永真樹, 中谷友紀 2016 年)』では、子供が家庭で自ら取り組むことができるボードゲーム作りをしていた。だが、実証実験で被験者にプレイしてもらった結果が記載されていなかった。それに加えて実証実験の写真から判断して被験者は明らかに対象としていた子供ではなく、ゲームシステム的に自然災害側と人間側の行動が1ターンにつき 6 回あるため少しルール性が複雑であった。そこで、今回の研究では 8 歳未満を対象として前に述べた先人の研究とは重なるところもあるが、子供た

ちがゲーム感覚で自然災害のことに触れ、防災教育に関心を持つきっかけとなるボードゲームを作成することを目的とする。

2. 材料・研究方法

この研究の方法は主に 3 つの段階からなる。第一段階はボードゲームの原型(以下、ラフモデル)の製作である。これに当たっては、飯塚裕介氏らの研究『防災教育用対戦型ボードゲームの開発』を参考にした。また、米光一成氏によるボードゲームに必要な三要素「ルール」「インタラクション」「ジレンマ」を考慮しつつ、テストプレイを繰り返した。第二段階と第三段階は当初は計画していたが第一段階の進行の遅れなどにより頓挫した。実施はしていないがその過程を記す。

まず、第二段階は本校中学生を対象としたラフモデルの体験及びアンケートの実施である。アンケートでは、ラフモデルで遊んでみた感想や防災に対する意識などを問う予定であった。そして、第三段階はアンケート結果をもとにしたラフモデルの改良である。この第二、第三段階の繰り返しにより、防災ゲームとしての質の高さ及びこのゲームで遊ぶ人のニーズを満たしたときにボードゲームの開発は完了するものと計画していた。また、実際に作成したラフモデルも大して面白くなかった(そのとき作成したボードは図2を参照)ため、視点を 180 度変えて再び新しいモデルを考案する

ことになった。なお、先述のとおり、アンケートの実施は行わず、他者の意見を適宜伺いながらラフモデルの改良を進め、ボードゲームの完成を宣言することになった

3. 結果

私たちは研究を通して2回ボードゲームを作成したが、1回目のボードゲームの反省点を2回目の新しいボードゲームに活用するという形をとった。最終的な結果として新しいボードゲームの仕組みを解説したい。

3-1. 初めに

ボードゲーム作成に当たっては楽天のネット通販でボードゲーム(6~8歳向けのもの)の週間売上ランキングを確認してランキング上位20位についてそのままボードゲームがどのジャンルであるかを判断し、それを別にランキング形式にまとめることで6~8歳の年齢層がより好む傾向にあるボードゲームのジャンルを把握し、我々のボードゲーム作成の最終的な道筋の参考にした。ここにおいて年齢に応じて趣向に違いがみられるのかを確認するために9~11歳が対象のボードゲームの売り上げについても表にまとめた。その結果が以下である。

表 1.ボードゲームの売り上げランキング

順位	6~8 歳	9~11 歳
1	パズル	謎解き
2	立体系 心理	脳教育
3	立体系 心理	魚釣り
4	謎解き	すごろく
5	ドンジャラ	すごろく
6	立体系 心理	すごろく
7	すごろく	パズル
8	平面系 戦略	パズル
9	魚釣り	棒倒し
10	プログラミング	カードゲーム

11	平面系 心理	すごろく
12	立体系 迷路	すごろく
13	パズル	ガス
14	パズル	
15	立体系 心理	
16	棒倒し	
17	すごろく	
18	すごろく	
19	ガス	
20	すごろく	

注)9~11歳の売上ランキングは13位までであった。

では6~8歳のほうが主にプレイ人数が2人で戦略の幅が広く、相手の意図を読むことを必要とした心理・戦略系、つまりプレイ人数が多く対戦ではなく、楽しむことがメインの協力・パーティー系のゲームではなく、相手との勝負があるゲームを好む傾向がみられた。

3-2. ゲームの形式

このゲームは多人数(2人~)でプレイすることができ、専用のゲーム盤を使用する戦略系ゲームである。所要時間は10~15分ほどでプレイできる。ゲーム盤はすごろくと似ているが、すごろくとは違いゴールはなく、プレイヤーはゲームが終了するまで同じ盤上で駒を動かすことになる。

3-3. マス、災害について

マス(土地)(図2参照)はそれぞれ山地、住宅地、低地、避難所、危険マスのどれかである。その中でも避難所には3種類あり、資金マス、観測マス、破壊マスに分けられる。このうち山地・住宅地・低地はすべてのプレイヤーのアクションが終わった後に災害カード(図2参照)を引く際の、地滑り、地震、水害に対応し、その種類のマスにいる全てのプレイヤーにダ

ダメージを与える（避難所、危険マスは災害に対応しない）。プレイヤーにはそれぞれ体力があり、災害の被害にあうごとにそれに応じたダメージを受ける。具体的なポイントの詳細は、体力 10 ポイントに対し、火山灰 1 ポイント、火砕流 9 ポイント、津波 8 ポイント、倒壊・火災・氾濫・高潮・地すべりについて 4 ポイント 5 ポイントの 2 種類ある。体力が尽きたとき、すなわち災害でダメージを受け体力が 0 となった時ゲームから脱落する。

3-4. プレイヤーの行動

プレイヤーは 1 ターンにつきターン 2 回サイコロを振る。1 回目は駒の移動マス数の決定のため、2 回目はポイントを得るためである。この時得られるポイントで防災アイテムを購入、マスに家を建てることができる。ただし 1 つのマスに家を建てられるプレイヤーは 1 人のみである。また、家建設にかかるポイントの 2 倍を使うことによって他のプレイヤーの家を自分の家にするができる。そして、自分が家を建てたマスに自分の駒がいるとき、災害が起こったとしてもダメージを受けない。

3-5. 勝敗の決定

ボード上に残った最後の一人がそのマッチの勝者となる。すなわち、自分が最後まで、他のどのプレイヤーよりも長く生き残れば、勝利する。

3-6. ゲームの魅力

このゲームの勝利条件は生存することなので、できるだけ被害を受ける確率を減らすことが重要になってくる。そのためできる限り多くのマスに自分の家を建てることでリスクは減らすことができるが、プレイヤー間で家の奪い合いが発生するので、インタラクションの要素が存在し、魅力的となっている。また、ゲーム

を優位に進めることができるかを左右するアイテムカードはそのマスに着かなければ入手することができない。その部分は完全にサイコロ頼みとなっているので、ドキドキさせてゲームに引き込ませる。そして、このゲームに緊迫感を持たせるために災害の被害ポイント決定で非常に高い確率で被害回数 3 回以内でゲームオーバーとなるように設定しているのもまた面白くなっている。概してサイコロの運がゲームの進行に適度に影響し、それに加えてプレイヤー同士の妨害があるのが魅力だ。

3-7. ゲームの特徴

このゲームは現実性と娯楽性を比較すると、娯楽性の方が強いものとなっている。これは、「災害」がテーマなので、現実性が強いとゲームが間延びしてしまうという私たちの予想と経験に基づいている。娯楽性を高めたことでゲームの内容の、現実や本質となる知識が得にくくなった分、災害カードに防災のための知識を書き入れることでプレイヤーが視覚的に情報を得ることができるようにしている。

4. 考察

同級生との会話の中にも「緊張感がない」という声を聞いた。第一段階のラフボードゲーム作りを通してボードゲームが魅力的であるためには各ターンにプレイヤーに差し迫る緊迫要素が必要であると分かった。一回目のボードゲームのテストプレイの施行時に上がった問題点は、プレイヤーの毎ターンの行動が単調であったこととプレイヤー間の勝負要素が不足していたことであった。それらを踏まえ新しいボードゲームには勝負要素をより多く盛り込み、プレイヤーの行動の選択肢を増やすことによって対策した。だがその結果災害へ緊迫感の低下を招く事態となった。

5. まとめと今後の課題

災害の多い日本において防災教育の普及の遅れは火急の課題であり、この研究において作成したボードゲームが解決の一助となることを望む。そのためには、実際に 8 歳未満の子供を集めてプレイした感想を聞きたいと考えている。今後の展望としては地域でハザードマップを 1 家に 1 枚配布していることに着眼して家族を持つ世帯にボードゲームを 1 セット配布するなど効果的な活用方法を考えて提案したい。

6. 参考文献

飯塚裕介, 長原慎一, 内山翔太, 川村能勝, 末永真樹, 中谷友紀 2016 年 2 月
『防災教育用対戦型ボードゲームの開発』
公益財団法人日本都市計画学会都市計画報告集 No14

7. 添付資料



図 1. 最初に作成したラフモデルのボードと災害カード

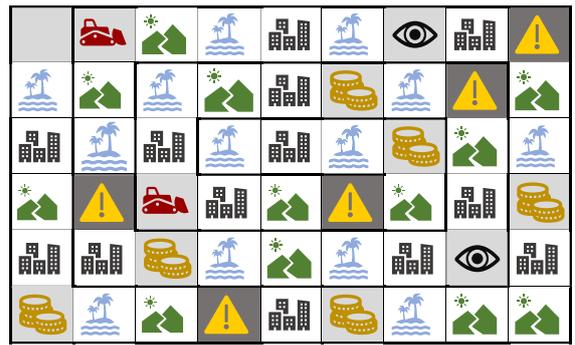


図 2. 新しく作成したボードと災害カード

ヴィーガンは環境に良い影響を与えるか？

友光麻結 福島沙都子

要旨

菜食は環境に良い影響を与えると考え、アンケートとインタビューを用いて、ヴィーガン・ベジタリアン・その他に分けて、環境への配慮の差と、菜食への見解を調べた。ヴィーガン・ベジタリアンはその他に比べて、環境への意識が高い傾向にあった。しかしその後も、食事以外で環境に配慮しようとしていると考えられる。

1. 研究の目的と先行研究

日本人にはあまりなじみのない言葉かもしれないが、近年欧米を中心に確立されつつある、食に対する思想にヴィーガニズム・ベジタリアニズムがある。これらはイギリス発祥であり、肉を食べないというものである。ヴィーガニズムはそれに加え、牛乳や蜂蜜、皮製品など、動物由来のものを食べたり、購入したりしないというものである。ヴィーガニズム、ベジタリアニズムの思想を実践する人をそれぞれ、ヴィーガン、ベジタリアンと呼ぶ。彼らの動機は、動物がかわいそうという気持ちと、環境への配慮である。というのも、家畜を育てると、水や土地などの資源の消費や温室効果ガスの排出が、甚大であるからである。

しかし、肉を得るために、私たちは様々な資源を費やしている。また、環境や動物に配慮せず、皮製品や毛皮製品を購入する人、買い物に行く際にエコバッグを持参しない人、ダイエットのためにヴィーガンになった人は、ヴィーガンの食生活をしていたとしてもヴィーガンとは言えないという主張もある。そこで、ヴィーガンはベジタリアンやその他に比べて、環境に配慮しているのではないかと考えた。

2. 研究方法

2-1. アンケート

Google フォームを用いてアンケートを行った。日本語版と英語版の 2 つのアンケート(同一内容)

を作成し、インターネット等で不特定多数の方に回答を依頼した。アンケートで質問した内容は以下の通りである。

- ・性別
- ・年代
- ・ヴィーガンか、ベジタリアンか、そうでないか
- ・行っている環境への配慮(複数回答可)
- ・農地と畜産動物の問題に対して、深刻であると感じる度合い(5段階評価)
- ・人口肉、培養肉についてどう思うか

(ヴィーガン・ベジタリアンのみ)

- ・ヴィーガン/ベジタリアンの活動として何を心がけているか(複数回答可)
- ・ヴィーガン/ベジタリアンになった年齢
- ・ヴィーガン/ベジタリアンになったきっかけ
- ・ヴィーガニズム/ベジタリアニズムを広めたいか
- ・ヴィーガン/ベジタリアンになって良かったこと、大変だったこと

(ヴィーガンのみ)

- ・ワクチンを接種するか

(その他のみ)

- ・ヴィーガンという言葉を知っているか
- ・ベジタリアンという言葉を知っているか

(英語版のみ)

- ・住んでいる国

2-2. インタビュー

総合地球環境学研究所の太田和彦研究員か

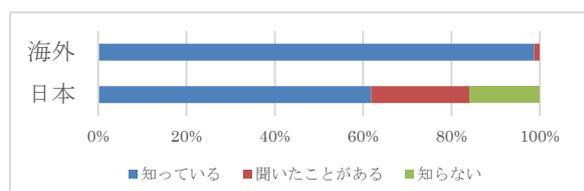
らご紹介いただいた、ベジタリアンのオランダ人研究者の二人にインタビューに答えてもらった。科学者の二人なら、ベジタリアンという生活スタイルをとる理由は、本来のヴィーガンの目的と同じく、環境への配慮ではないかと考えた。

3. 結果

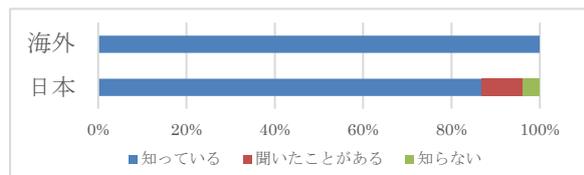
3-1. アンケート

3-1-1. ヴィーガン・ベジタリアンの知名度

ヴィーガン 6 人、ベジタリアン 11 人、その他の方 154 人にアンケートを実施した。

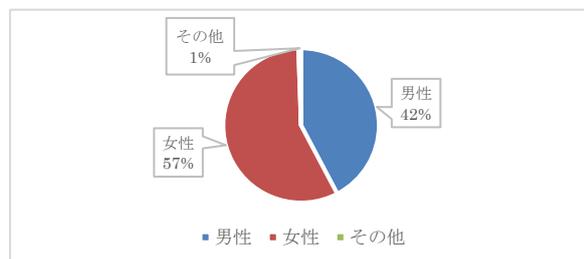


▲図 1 ヴィーガンという言葉を知っているか

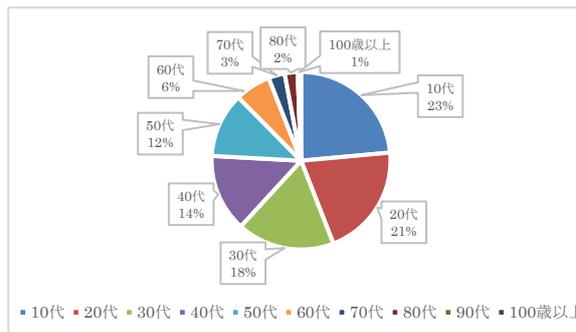


▲図 2 ベジタリアンという言葉を知っているか

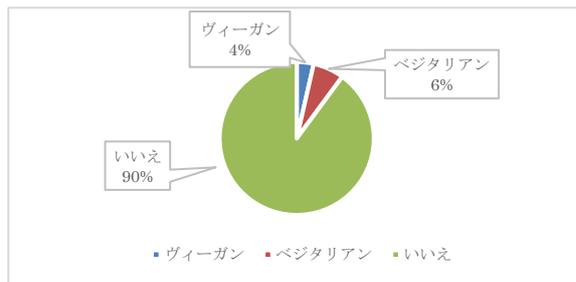
海外では、「ヴィーガンという言葉を知っている」と答えた人の割合は 98.7%、「ベジタリアンという言葉を知っている」と答えた人は 100%だった。また、日本は海外と比べて、ヴィーガン・ベジタリアンの知名度が低かった。



▲図 3 回答者の性別

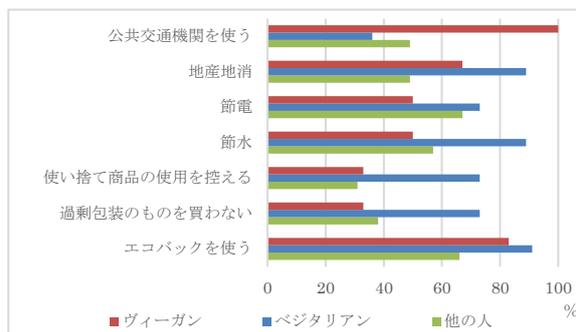


▲図 4 回答者の年齢



▲図 5 回答者がヴィーガンか、ベジタリアンか、そうでないか

3-1-2. 環境へ配慮した行動

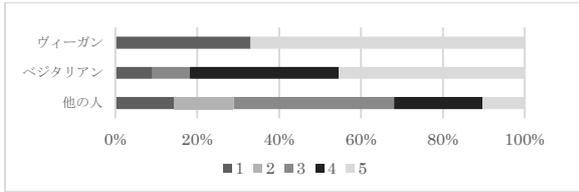


▲図 6 行っている環境への配慮

ヴィーガン、ベジタリアン、その他に環境のためにしていることを尋ねたところ、比較的ベジタリアンが「節水」「使い捨て商品の使用を抑える」「過剰包装のものを買わない」など様々なことを心掛けていた。この項目は、ヴィーガンとその他の差が見られなかった。

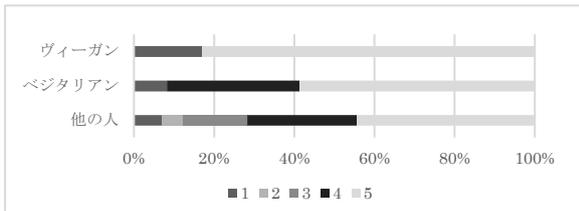
「節電」「節水」はヴィーガンよりその他のほうが配慮していた。「エコバッグを使う」と答えた割合は全体的に高かった。一方で、「過剰包装のものを買わない」「使い捨て商品の使用を抑える」と答えた割合は全体的に低かった。

3-1-3. 環境問題への意識

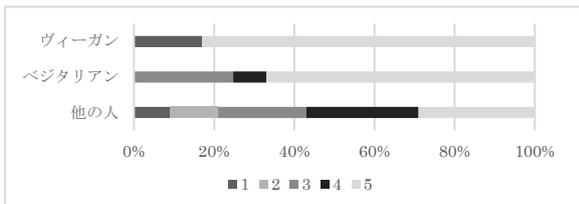


▲図7 「農地の多くが牧場である」問題に対して深刻であると感じる割合

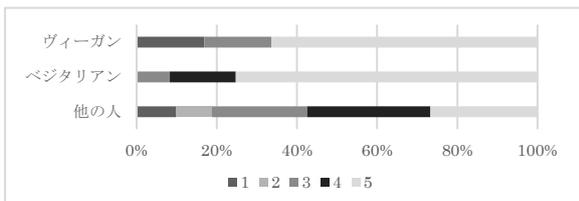
(図7~11は数字が大きいほど深刻であると感じていることを示す. 5段階評価)



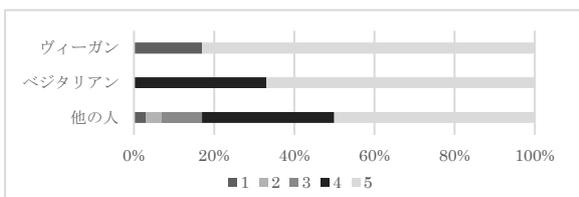
▲図8 「家畜虐待」問題に対して深刻であると感じる割合



▲図9 「家畜を育てるために莫大な水が消費されている」問題に対して深刻であると感じる割合



▲図10 「家畜が放出する温室効果ガス」問題に対して深刻であると感じる割合



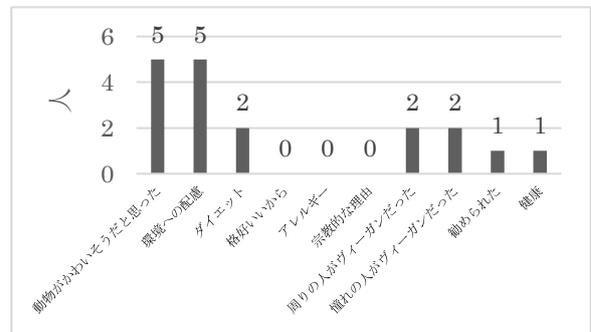
▲図11 「農地の土地を確保するための森林伐採」

問題に対して深刻であると感じる割合

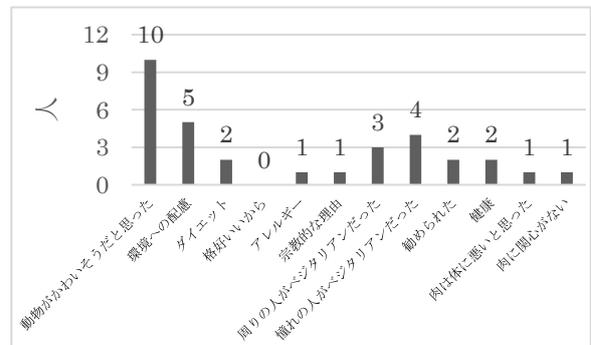
「農地の多くが牧場」という問題に対しては、深刻であると感じている人が全体的に少なかった。他4つの問題に対しては、これも全体的に、深刻だと感じる割合が最も大きいことを表す「5」と答えた人が多かった。

「家畜が放出する温室効果ガス」を除く4つの環境問題すべてにおいて、ヴィーガン、ベジタリアン、その他、の順に「5」と答えた人の割合が高かった。

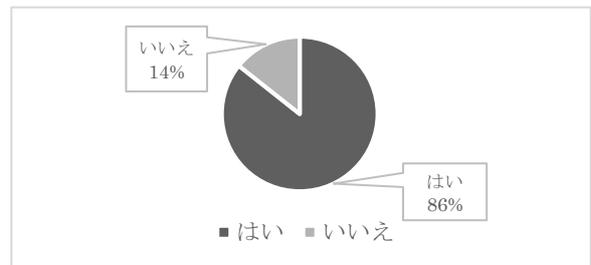
3-1-4. 菜食主義者の菜食への見解



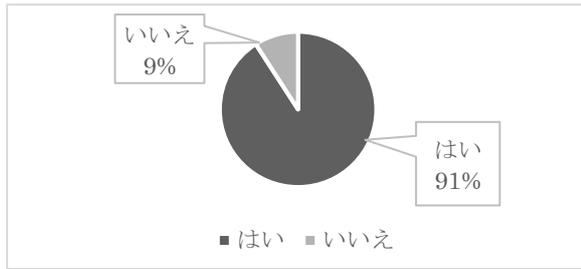
▲図12 ヴィーガンになったきっかけ



▲図13 ベジタリアンになったきっかけ



▲図14 ヴィーガンはヴィーガニズムを広めたいか

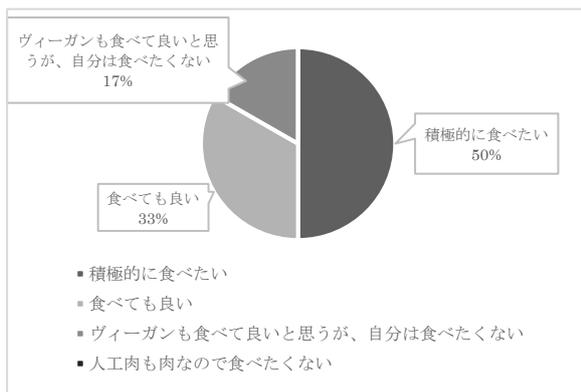


▲図 15 ベジタリアンはベジタリアニズムを広めたいか

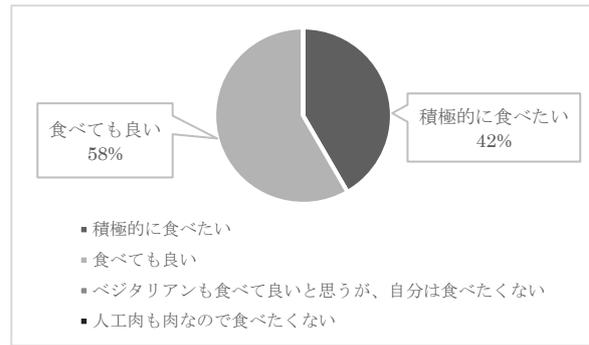
ヴィーガン・ベジタリアンになったきっかけとして、両者とも「動物がかわいそうだという気持ち」と答えた割合が高かった。一方で、「環境への配慮」と答えた割合はベジタリアンが50%以下であるのに対して、ヴィーガンはほぼ100%であった。また、「動物がかわいそうだという気持ち」「環境への配慮」を理由にあげずに「ダイエット」「カッコいいから」と答えた人はごく少数だった。

また、ヴィーガンは「ヴィーガンになって良かったこと」に健康に良いこと、ベジタリアンは「ベジタリアンになって良かったこと」に環境のためになることと答えた人が多かった。

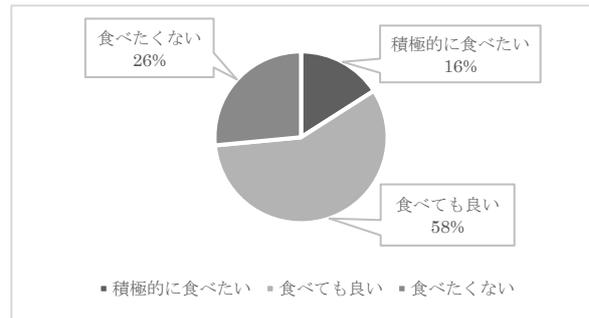
3-1-5. 人工肉・培養肉への見解



▲図 16 ヴィーガンの人口肉に対する考え

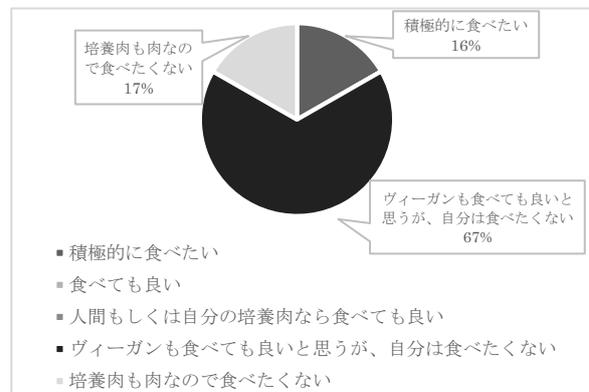


▲図 17 ベジタリアンの人口肉に対する考え

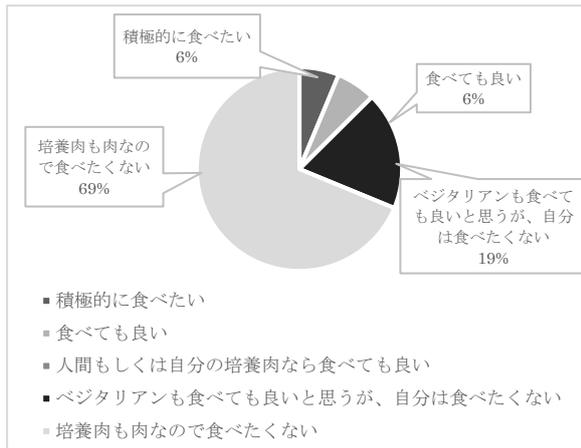


▲図 18 その他の人口肉に対する考え

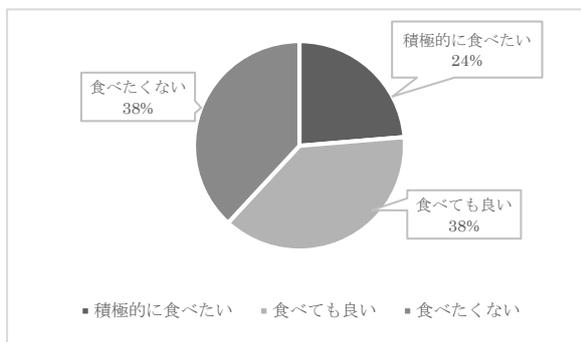
人工肉においては、ヴィーガン、ベジタリアン、その他の順で、「積極的に食べたい」と答えた割合が高かった。



▲図 19 ヴィーガンの培養肉に対する考え



▲図 20 ベジタリアンの培養肉に対する考え

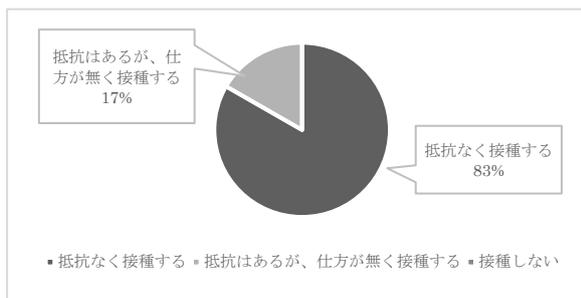


▲図 21 その他の培養肉に対する考え

培養肉については、ヴィーガン・ベジタリアンでは否定的な意見をもつ人が多かった。ヴィーガンは「ヴィーガンも食べても良いと思うが、自分は食べたくない」と答えた人が、ベジタリアンは「培養肉も肉なので食べたくない」と答えた人が多かった。

一方、その他は比較的、培養肉に寛容だった。しかし、人工肉と比べると「食べたくない」と答えた人が多かった。

3-1-6. ワクチンについての見解



▲図 22 ヴィーガンのワクチンに対する考え

ワクチンは鶏卵を用いて作られるが、ほとんどのヴィーガンが「抵抗なく接種する」と答えた。

3-2. インタビュー

ベジタリアンになった理由として二人が共通してあげていたのは“sustainability”すなわち「持続可能」である。オランダ人研究者の A さんは、肉や魚が乱獲され、必要以上に犠牲が払われている現状から、今よりも需要と供給の均衡が取れた方法で食肉が生産されるなら、ベジタリアンを続ける必要はないと考えていると述べた。さらに、オランダ人研究者の B さんは、持続性は動物愛護の考え方にもつながっており、ベジタリアンの生活には動物のひどい捕獲は必要なく、動物を苦しめないようにできることが主な理由だと、我々の仮説を関連付けてくれた。

次に普段から心掛けていることについて A さんは、マイバッグを持ち歩き、ビニール袋をもらわないようにしていること、着ている服を工夫することで部屋の温度に適応していることを挙げた。二人の取り組みに共通したのはやはり「持続可能」な服を買うことだった。A さんは衣料産業における大量生産の不必要さと、持続可能な衣料を購入する難しさを挙げた。B さんは動物製品を手に入れる過程が一番問題だと述べた。

普段の食事について B さんは、家では豆腐や野菜カレー、サラダなどの簡単な料理を作り、朝食はピーナッツバターの食パンで、職場では前日の夜に作った残りを持っていくという。A さんは、朝食はヨーグルトにグラノーラ、昼食には前日の夕飯を持っていくという。ベジタリアンの二人はカフェテリアで食べられるものが極端にかぎられてしまいうらしい。夜はアジア料理をよく食べるそうで、中でも日本の伝統的な料理は種類が豊富であると述べた。一方で、オランダ料理は代替品を使ったものしか食べられないと述べた。

オランダは日本よりもベジタリアンの考え方や生

活スタイルが浸透していて生活しやすいそうだ。というも日本では、ほとんど全ての料理に鰹節や魚のあごなどでとっただしが使われており、外食する際に苦労したらしい。一方、豆腐や大豆製品はヨーロッパにはない食べ物で、ベジタリアンだけでなくヴィーガンにも向いていると述べた。日本と異なる点は、オランダではどのレストランに行ってもベジタリアン料理が食べられる点である。どちらの国もここ数十年でベジタリアンとして暮らしやすくなってきているのは確かであると二人は繰り返した。

ベジタリアンになって変化したことについてBさんは、他の人と一緒にいるときは少し大変だと述べた。以前は不意にフライドチキンが食べなくなったこともあったそうだが、今は“死んだ鶏肉”としか認識できなくなったそうだ。Aさんはベジタリアンになって料理が上手になったと実感している。これは、もともと肉から得ていたたんぱく質を積極的に摂取できるメニューを考えるうちに、食事全体の栄養バランスについて以前より真剣に考えるようになったからだとのべた。

4. 考察

4-1. ヴィーガン・ベジタリアンの知名度

海外と比べて日本がヴィーガン・ベジタリアンの知名度が低い理由は、日本にはヴィーガン・ベジタリアンレストランなど、菜食主義者のための施設が少なく、菜食に触れる機会が少ないためと考えられる。

4-2. 環境へ配慮した行動

「節電」「節水」はヴィーガンよりその他のほうが実践していた。これは、節電・節水をすることは節約に繋がり、金銭的な面で自分が直接利益を得られるためと考えられる。また、節水・節電の重要性は幼少期から教えられるため、ヴィーガン・ベジタリアンの如何にかかわらず、自然と心掛けるようになったとも考えられる。

エコバッグを使う人が全体的に多かった理由は、近年エコバッグの有料化が進んでいるためと考えられる。

過剰包装・使い捨て商品の使用率が高かった理由は、先進国では、過剰包装の商品・使い捨て商品が普及しており、それらの購入は避けられないためと考えられる。

4-3. 環境問題への意識

結果より、ヴィーガンはより環境問題に危機感を抱いていると考えられる。しかし、ベジタリアンやその他も、深刻であると答えた人の割合は高いため、社会全体が環境問題の深刻さを認識していると考えられる。

「農地の多くが牧場である」問題に対して深刻だと感じる人は全体的に少なかったため、水とは異なり、土地を限りある資源だと考える人は非常に少ないと言える。

4-4. 菜食主義者の菜食への見解

外見だけを気にして菜食をしている人が少なかったことから、ヴィーガン・ベジタリアンは他者の目を気にしたうわべだけの菜食主義者ではなく、本来のヴィーガン・ベジタリアンの目的に沿った人が多いと言える。また、ベジタリアンは動物への配慮や健康を、ヴィーガンはそれに加え、環境問題を視野にいれて菜食をしていると考えられる。そして、「3-1-2.環境へ配慮した行動」「3-1-3.環境問題への意識」の結果から分かるように、ベジタリアンも環境への意識が高い。よって、ベジタリアンになったきっかけや目的はどうかであれ、ベジタリアンの生活を続けるうえで、環境に関心をもつようになったともいえる。

4-5. 人工肉・培養肉への見解

ヴィーガン・ベジタリアンがその他より人口肉に対して積極的であったことから、ヴィーガンやベジタリアンも、肉のようなものを食べたいと言える。よ

って、肉が嫌いという理由で、菜食を始めたわけではないと言える。

ヴィーガン・ベジタリアンに共通することは、人口肉に対しては80%以上が「積極的に食べたい」「食べても良い」と答えていたが、培養肉に対して「積極的に食べたい」「食べても良い」と答えた人は20%に満たなかった。よって、培養肉は単に気持ち悪いと感じている菜食主義者が多い。比較的その他が培養肉に積極的であった。

特に、「動物がかわいそうだから」という理由で菜食を始めた人が多いベジタリアンは、人一倍動物への愛情が大きく、動物たちを科学技術で操作することは、殺すことと同じくらい残忍なことだと感じるため、「培養肉も肉」と見なしていると考えられる。

4-6. ワクチンについての見解

ヴィーガンのほとんどが抵抗なくワクチンを接種する理由は、肉や乳製品と異なり代替品がなく、また接種の如何は命に関わることであるからと考えられる。

5. まとめと今後の課題

ヴィーガンは「環境」、ベジタリアンは「動物・健康」を目的としている。食事の制限だけでなく、目的にも違いが見られた。

環境への配慮や、環境問題への関心は、どちらから言えば、その他よりヴィーガン・ベジタリアンに多く見受けられた。しかし、その他も、環境に配慮した行動のうち手軽なもの、特に金銭的な面で利益を得ていると実感できる行動をしていた。ヴィーガン・ベジタリアンには劣るが、その他も環境への意識が高いと言える。その他は、菜食に移行することはハードルが高いため、食事以外で環境の改善に取り組もうとしていると考えられる。また、そもそも「食肉を手に入れるために、環境に負荷をかけている。菜食をする理由の一つは、そのためだ。」ということを知らない人も多数いると考えられ

る。

今回の調査では、アンケートの対象者にヴィーガン・ベジタリアンが少なく、アンケート結果が信憑性に欠けるものとなってしまった。

6. 謝辞

インタビューの実施においてお知り合いの研究者を紹介して下さった総合地球環境学研究所研究部研究員の太田和彦研究員、研究計画からポスター・論文作成まで幅広く我々にお力を貸して下さった同研究所研究基盤国際センター研究員の宗田勝也研究員に心からの感謝の意を示します。

7. 参考文献

末次勲 (1983), 食の科学叢書 菜食主義, 丸の内出版, 177p.

橋本玲子, 2016, グローバル時代における多様な食のニーズへの対応, 日本調理科学会誌, 49, 5, 320 - 323.

2019.2.19, TOKYOVEGAN.NET,
<https://tokyovegan.net/what-is-vegan/#i-2>, 2020.2.6

地下水の和菓子への影響

～京都の各地域の地下水の比較～

石田花 永田万桜 前川万侑子

要旨

水を多く用いる京都の産業のうち和菓子に注目し、京都の和菓子屋で使用されている地下水を調査することで、地下水が和菓子に与える影響や地域ごとの差について考察する。地下水のイオン含有量や硬度が和菓子に影響することがわかり、京都の地下水は素材の味を生かす水であること、つまり和菓子作りに適した水であることが示唆された。

1. はじめに

桓武帝による平安遷都以来、京都は都として栄え多くの人々が生活してきた地である。その歴史の中で様々な産業が発展してきたが、酒造りや湯葉・豆腐の製造、織物、染色、茶の湯、和菓子など、とりわけ水を多く使用するものが多い。これらの産業は琵琶湖にも匹敵すると言われる貯水量を誇る京都盆地の地下水に支えられており、地下水は京都の文化を、ひいては京都を支えていると言っても過言ではない。

京都盆地は北から南へと下る緩やかな傾斜を形作っており、地下面も同様であるため、地下水は南へと流れ、腐敗しにくい。こういった地形的なメリット等により、京都の地下水は一年を通して水質や水量が一定で、良質なのである。また、どこも同じような水質というわけではなく、地域ごとに異なる水質を持ち、Mg・Na(ミネラル)を比較的多く含む伏見・桃山、滞留時間が短いためミネラル分が少なく純水に近い東山、鴨川の砂礫層からミネラル分が溶け出した鴨川西部、滞留時間が長くミネラル分が比較的多い西山の四つに大別される(藪崎ら, 2014)。

本稿では、水を多く用いる京都の産業のうち、和菓子に注目し、京都市内各地の和菓子店での商品の製造に用いられている地下水を調査することで、和菓子に地下水が与える影響や、店舗ご

との差について考察していく。また、各店舗の周辺地域の土地利用の変遷を調査することで、土地と地下水の関係を考える。

伏見の地下水については水質の報告があり(堀池, 1994)、硬度成分(Ca・Mg)を適度に含み、Fe・Mn が少ない良質の酒造用水であることが知られている。

2. 研究方法

2-1. インタビュー調査

上林鑿泉工業株式会社の上林祥悟会長、株式会社美濃与の長瀬裕一氏、嵯峨嘉の島田嘉寛氏、山梨製餡の山梨彰一社長、俵屋吉富の畠中和人部長、亀屋良長の吉村由依子氏、中村軒の中村社長、二條若狭屋の大石氏を訪ね、話を聞いた。上記の和菓子屋六軒は全て店内の井戸水を使用している。質問内容は、上林鑿泉工業株式会社へは京都の水質の特徴や、水の和菓子産業への影響等、和菓子屋へは自社の井戸水の特徴のこだわりや、水の和菓子への影響等である。

嵯峨嘉 京都市右京区 創業 1970 年

山梨製餡 京都市東山区 創業 1920 年

俵屋吉富 京都市上京区 創業 1755 年

亀屋良長 京都市下京区 創業 1803 年

中村軒 京都市西京区 創業 1883 年

二條若狭屋 京都市中京区 創業 1917 年
また、和菓子屋で使用されている井戸水を採取した。

2-2. 水質調査

インタビュー調査を行った各店舗において採取した井戸水と水道水について、総合地球環境学研究所に依頼してイオン・金属を測定した。なお、嵯峨嘉については、井戸水に加えて、軟水器に通した水(便宜上軟化水と示す)も採取・測定を行った。

測定機器:イオンクロマトグラフィシステム

(ICS-3000), ICP-MS (Agilent 7500 cx)

測定項目:F⁻, Cl⁻, NO₂⁻, Br⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, PO₄³⁻, Li⁺, Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, B, Al, Mn, Fe, Cu, Zn, Ba

2-3. 土地利用調査

国土地理院の地図・空中写真閲覧サービスを用いて、空中写真及び地勢図で、各和菓子店周辺の土地利用とその変遷を調査した。

2-4. アンケート調査

水質調査の結果を元に抽出した 3 店舗(俵屋吉富, 中村軒, 二條若狭屋)の地下水と、水道水を用いて抹茶寒天を作り、どの水を使用したか分からない状態にして、下記項目についてのアンケート調査を、洛北高校 2 年生生徒 14 名と教員・研究員 9 名を対象に行った。

調理方法:

1. 抹茶 3 g と水 16 g を混ぜる。
 2. 砂糖 52 g, 水 430 g, 寒天パウダー 4 g を鍋に入れて加熱する。沸騰してから 1 分鍋底をかき混ぜながら煮る。
 3. 火を止めて 1. のものを投入し混ぜる。
 4. 容器に移し、粗熱を取り冷蔵庫に入れ固める。
- アンケート内容: 下記の項目について最も程度の大きいものを 5, 小さいものを 1 とする 5 段階評価。また同時に、総合的に最もおいしいと感じたものとその理由、特に印象に残ったことを尋ねた。

項目: 色の濃さ, 色の好ましさ, 硬さ, 抹茶の香りの強さ, 抹茶の味の強さ, 甘さ, おいしさ

3. 結果

3-1. インタビュー調査

各対象へのインタビューによって分かった結果を下にまとめる。

1. 上林鑿泉工業株式会社

京都の地下水の水質は良い。その理由として地下水の高さが変わっておらず水質や水量が一定であったこと、適度な地下面の傾斜により地下水が南側に流れ腐らないことが挙げられる。この良質な地下水により、菌が繁殖せず清潔であったため、京都に都が置かれていたと考えられる。

伏見の酒造りでは、酒を造る前に除鉄・除マンガンを行うそうだ。それは、鉄や Mn があると、小豆やお茶に含まれるタンニンと反応して、色が黒っぽく変わるからである。

2. 嵯峨嘉

井戸水を使用している理由は、水道代と違って上水代がかからないからである。また、本店では井戸水のほかにそれを軟水化した水も使用している。軟水のほうがあんこをたく時に小豆が水を吸収しやすいからである。

和菓子は水を売る商品、洋菓子は空気を売る商品と言われている。和菓子では、特にあんこを作るときに水を大量に使用する。

3. 山梨製餡

井戸水の処理はほとんどしていない。

東山に降った雨水が長い時間を経て地面にしみこむ前に取り出して使用するため、店の井戸水は純水に近く、素材の味が生きる。

4. 俵屋吉富

旧工場で井戸が枯れた時に水道水を使った。水に合う小豆を使う必要があった。

5. 亀屋良長

阪急の工事があった時に井戸が枯れ、水道水

に変えたところ、和菓子の味が変わった。

6. 中村軒

水道水では和菓子の味に変化が生じる。明治16年から同じ井戸を使っている。地下の中層から上層の水のほうが味が良い。衛生上は深層が好ましい。小豆には硬度の高い水のほうが良い。

7. 二條若狭屋

水が豊富にあることが、店舗がある場所の理由。水道水には塩素が含まれ、もち米のビタミンが壊れる。また、鉄分が含まれるため味が悪くなり、小豆のタンニンと反応して色が黒っぽくなる。小豆の粘りは、あんこをたく時が変わる。この店では、「竹水ようかん」を井戸水と水道水それぞれで作ったものを提供してもらい、食べ比べた(図1)。水道水で作ったものの方が色が濃く、強く甘みを感じた。井戸水で作ったものは控えめで上品な味がした。

3-2. 水質調査

結果を表1-1・2に示す。ただし硬度については、カルシウム塩・マグネシウム塩の量を炭酸カルシウム(CaCO_3)の量に換算するアメリカ硬度に基づいて計算した値である。図4は、各サンプルに含まれるそれぞれのイオンの量をレーダーグラフにあらわしたものである。

3-3. 土地利用調査

・ 嵯峨嘉

1961年以前は周辺一帯が田畑である。1969年時点では、南部に市街地が見られるが周辺は田畑である。1975年以降は市街地であるようだ。

・ 山梨製餡

1938年以降市街地であると見受けられる。

・ 俵屋吉富

1909年以降市街地であると見受けられる。

・ 亀屋吉長

1946年以降市街地であると見受けられる。

・ 中村軒

1975年以前は周辺一帯が田畑である。1987年

から1990年では、大半は市街地だが田畑も2割程度残っている。2008年以降は市街地であるようだ。

・ 二條若狭屋

1938年以降市街地であると見受けられる。

3-4. アンケート調査

また、5段階評価の結果を棒グラフにまとめたものを図2-1~7に示す。各サンプルについて、データが左側に偏っている方が各項目について程度が大きいと評価されたことを示している。また、4つのうち最も好みであると答えた人数を、棒グラフにまとめたものを図3に示す。

4. 考察

イオンの含有量に関して、先行研究で示されているような地域ごとの差異や傾向を見出すことはできなかった。しかし、図4にあるように、イオンの総量に差はあるものの、類似性が見られるものがいくつかある。山梨製餡と中村軒は、ともに盆地周縁部に立地しており、 Ca^{2+} の濃度が他のイオンに比べ高く、 NO_3^- の濃度が低い点等で類似している。 NO_3^- は人為的影響により濃度が高くなるため(向井ら, 2009)、郊外よりの場所に位置する2軒ではあまり検出されなかったのだと考えられる。中村軒が、割合最近まで周囲に田畑を残していたのに対し、山梨製餡の周辺は早くから市街地化が進んでいた。このことから、土地利用の如何よりも、店の立地そのものが地下水の質に大きく影響するのではないかと考えられる。

アンケート結果より、総合的にどれがおいしいかという設問において、水道水と回答した人が最も多く、次いで二條若狭屋と中村軒、俵屋吉富の順であった。水道水は「甘さ」の項目において最高点をつけた人の数が最も多く、一方で抹茶の香りや味については弱いという回答が見られた。これは二條若狭屋におけるインタ

ビュー調査において、水道水で作った竹水ようかんでより強く甘みを感じたことと一致する。

水道水に次いで人気だった二條若狭屋では、水道水とは対照的に、「甘さ」の項目における評価は低く、抹茶の香りや味を強く感じたことをおいしさの理由として挙げる人が多かった。

また、水道水と二條若狭屋の水質について、二條若狭屋は EC、硬度について値が大きく、水道水では小さい。このことから、含有イオンが多いほど抹茶の香り、味を強め、少ないほど甘みが強まると考えられる。

また、水道水を最もおいしいと感じた人のうち約 7 割は生徒、二條若狭屋を最もおいしいと感じた人の約 7 割は教職員であることは興味深い。このことから、年齢が若いうちは単純に甘いものを好み、年齢が高くなるにつれ、抹茶の味や香りを感じやすいものを好むのではないか。

硬さにおいて、俵屋吉富、中村軒、水道水に比べ二條若狭屋が硬いと評価されたことから、EC、硬度の高い水が寒天を硬くすると考えられる。

色の濃さにおいても俵屋吉富、中村軒、水道水に比べ二條若狭屋が濃いと評価された。また、二條若狭屋は Fe の含有量大きい。このことから、上林鑿泉工業株式会社のインタビュー調査のとおり、Fe 含有量大きいと色が濃いと考えられる。

4 つのうち EC、硬度が低い中村軒と水道水において、水質の違いは Cl⁻ の含有量の大小である。アンケート調査の結果において、中村軒と水道水を比較すると、水道水は抹茶の香り・味の強さの評価が小さい。このことから、抹茶の香り・味の強さに Cl⁻ が関係していると考えられる。

5. まとめと今後の課題

今回の研究では、京都の地下水が、「素材の

味を生かす水」であること、すなわち和菓子作りに適した水であることが示唆された。しかし、多くのデータを得ることができたにも関わらず、我々の勉強不足のため、十分に分析・活用できなかったことは否めない。このことや、当初目標としていた地質と地下水の関係の調査に取り組みなかったことについては、今後の課題としたい。

6. 謝辞

今回の研究にあたり、インタビュー調査において上林鑿泉工業株式会社の上林氏、株式会社美濃与の長瀬氏に、インタビュー調査・地下水の採取において嵯峨嘉の島田氏、山梨製餡の山梨氏、俵屋吉富の畠中氏、亀屋良長の吉村氏、中村軒の中村氏、二條若狭屋の大石氏に、水質調査において総合地球環境学研究所の藪崎氏にご協力をいただき、多くの助言をいただきました。また、アンケート調査にご協力いただいた洛北高校 2 年生および教員・研究員の方々にも感謝を申し上げます。

7. 参考文献

堀池昭, 1994, 名水を訪ねて(24) 京都・伏見のご香水と酒造り. 地下水学会誌 第 36 巻 第 3 号, 315 - 325

向井浩・治田隆宏・田中里志, 2009, 井水の化学成分に基づく京都盆地北部市街域の地下水系の解析. 地球化学. 43, 45 - 57

藪崎志穂, 河野忠, 鈴木康久, 名水を訪ねて (104) 京都盆地とその周辺地域の名水. 地下水学会誌, 第 56 巻第 1 号, 53 - 65

株式会社山梨製餡, <https://yamanashiseian.co.jp/>, 2019.11.09.

そらてんママ, cookpad 。。。抹茶寒天。。。, <https://cookpad.com/recipe/1496999>, 2019.11.15.

8. 添付資料



図 1. 竹水ようかん

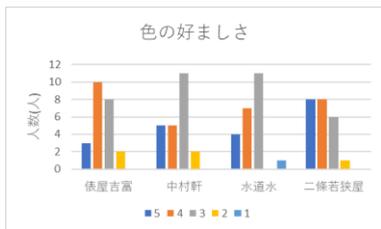


図 2-1. 色の好ましさ

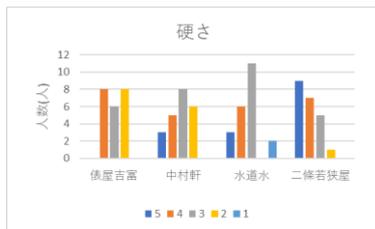


図 2-2. 硬さ

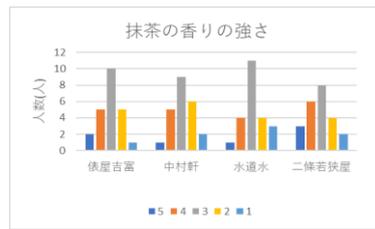


図 2-3. 抹茶の香りの強さ

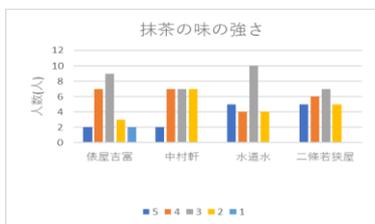


図 2-4. 抹茶の味の強さ

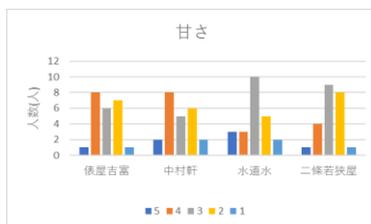


図 2-5. 甘さ

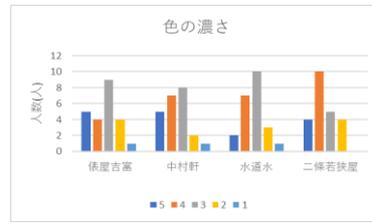


図 2-6. 色の濃さ

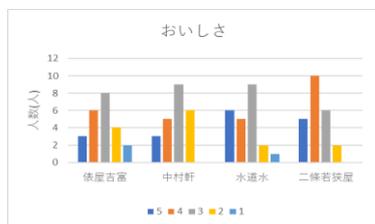


図 2-7. おいしさ

図 2. アンケート結果

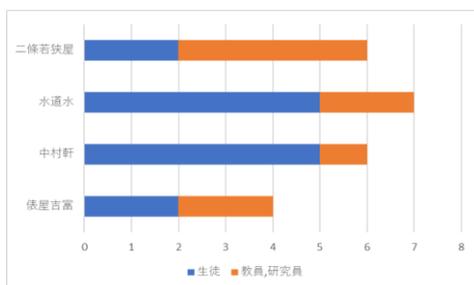


図 3. 最も好みであるもの

表 1-1. 水質調査結果 (イオン含有量, EC, 硬度)

試料名	F ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	Br ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	Li ⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	EC (mS/m)	硬度 (mg/L)
1 嵯峨嘉井水	0.1	12.9	n.a.	0.0	21.6	6.3	0.2	n.a.	14.6	n.a.	1.1	5.0	14.4	18.4	56.5
2 嵯峨嘉軟化水	0.0	12.7	n.a.	0.0	21.7	6.7	0.2	n.a.	14.7	n.a.	0.9	4.8	14.5	18.2	56.0
3 山梨製館	0.1	15.3	n.a.	0.1	2.5	14.4	0.2	n.a.	12.4	n.a.	3.9	2.9	24.3	21.0	72.6
4 亀屋良長	0.0	10.2	n.a.	0.0	13.5	14.1	0.3	n.a.	12.4	n.a.	1.8	4.9	15.7	19.0	59.4
5 俵屋吉富	0.1	9.9	n.a.	0.2	2.8	1.8	1.0	n.a.	18.9	n.a.	0.6	4.9	10.2	16.9	45.6
6 中村軒	0.1	6.2	n.a.	0.0	1.5	7.0	0.3	n.a.	7.2	n.a.	1.8	2.1	10.3	10.6	34.4
7 二条若狭屋	0.1	18.4	n.a.	0.0	33.6	21.3	1.0	n.a.	19.2	n.a.	6.1	4.3	17.6	25.0	61.7
8 水道水	0.1	12.6	n.a.	0.0	0.1	7.7	0.1	n.a.	8.1	n.a.	1.4	1.9	11.8	11.9	37.3

表 1-2. 水質調査結果 (金属含有量, 単位 $\mu\text{g/L}$)

サンプル名	B	Al	Mn	Fe	Cu	Zn	Ba
1 嵯峨嘉井水	5.431	0.226	0.518	0.144	32.662	34.192	29.260
2 嵯峨嘉軟化水	5.083	0.060	0.526	0.094	10.266	112.661	30.592
3 山梨製館	23.616	0.095	30.928	0.134	1.338	3.076	50.515
4 亀屋良長	19.761	1.500	0.135	0.137	17.302	22.788	20.251
5 俵屋吉富	12.828	0.087	0.039	<0.09235	0.306	1.476	1.742
6 中村軒	19.162	0.145	1.093	0.177	8.599	47.742	18.123
7 二条若狭屋	35.564	0.232	0.065	0.370	8.413	4.258	39.890
8 水道水	12.372	33.622	0.093	0.138	7.908	7.863	8.445

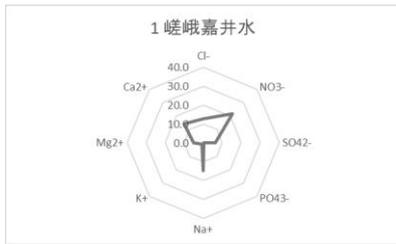


図 4-1. 嵯峨嘉井水

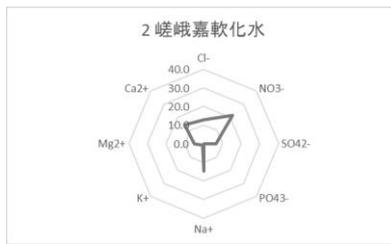


図 4-2. 嵯峨嘉軟化水



図 4-3. 山梨製館



図 4-4. 亀屋良長

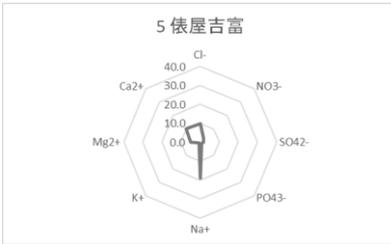


図 4-5. 俵屋吉富

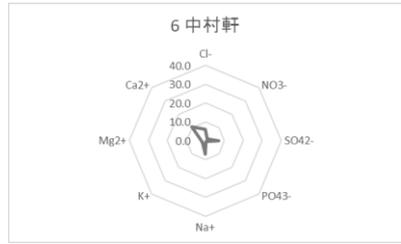


図 4-6. 中村軒



図 4-7. 二条若狭屋

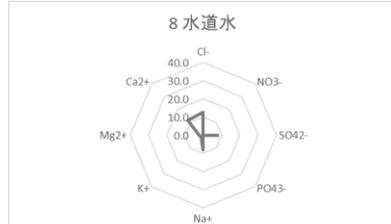


図 4-8. 水道水

図 4. 水質調査のグラフ

ダイラタンシー

～ 鉄球の自由落下を用いたダイラタンシー性の比較と、 抵抗力を示すダイラタンシー流体の構造の考察 ～

白井眞子 嶽盛蒼太 松村侑香 村島美桜子 山崎祐吾

要旨

本研究では、ダイラタンシー流体について流体面に鉄球を衝突させる実験を通して、その性質・構造に対する理解を深めることを目的とした。始めに、予備実験として、ダイラタンシー性を示す 3 種類の粉末(粒径の大きい片栗粉, 粒径の小さいコーンスターチ, キャッサバ澱粉)に水を混合した流体に鉄球を自由落下させ、流体面から鉄球の上端が見えなくなるまでの時間を計測し比較した。その後、それらの混合流体で同様の実験を行い、その結果をもとにして、粉末の粒径が流体の性質に影響を与えていると考察した。次に、ダイラタンシー流体のとる構造の変化を調べるために、鉄球を落下させ、衝撃を加え始めてからの経過時間と鉄球の落下速度の関係を調べた。その結果、ダイラタンシー流体中の鉄球は速度の増減を繰り返していることがわかり、分散媒の密度が大きい層と小さい層が交互に重なっている構造を考えた。

1. はじめに

ダイラタンシー流体とは、通常状態では、液体で存在するが、衝撃によって固体のように振る舞う物体である。この性質は、澱粉などの懸濁液においてみられる。流体中の粒子の表面を囲んでいた水が、最密構造状態の粉末に衝撃が与えられることによって生まれた粒子と粒子の間の空間に入り込む。それにより、それぞれの粒子の表面を覆う水の体積が減少し、固体としての性質が強くなる(図 1-1, 図 1-2)。この性質を本研究ではダイラタンシー性と呼ぶ。

予備実験として、洞爺高橋でん粉工場 ばれいしょでんぷん(以下片栗粉とする)、池伝株式会社 DI コーンスターチ(以下コーンスターチとする)、創健社 タピオカ粉末(以下キャッサバ澱粉とする)を、水/粉末=35/50(質量比)で混ぜた場合に全ての流体に対してダイラタンシー性が認められたため、それぞれ水 35 g に対して 50 g 混ぜた時のダイラタンシー性の大きさの比較をした。仮説として、流体中の分散質の密度が大きければ、衝撃

を与えられても粒子の間に入り込む水の体積が少量に抑えられるため、よりダイラタンシー性を示すのではないかと考えた。3 種類の粒径は、大きいほうから片栗粉(15~100 μm)、キャッサバ澱粉(5~35 μm)、コーンスターチ(6~25 μm)であるため、それぞれの質量が等しいとするならば、密度は逆の順番となる。従って、ダイラタンシー性の大きさは、コーンスターチ、キャッサバ澱粉、片栗粉の順番になると考えた。鉄球の自由落下を用いた粘弾性の測定実験(以下本実験1とする)の結果、仮説に反し、キャッサバ澱粉が最も大きくダイラタンシー性を示した。これは、キャッサバ澱粉の親水性が働いたためだと考えられる。その一方、片栗粉は仮説通り、計測結果が最も小さかった(図 2)。

このことから、仮説として本実験 1 である混合流体のダイラタンシー性の比較では、例えば片栗粉とコーンスターチを等量で混合すると、ダイラタンシー性は、片栗粉単体の流体<混合流体<コーンスターチ単体の流体のように 2 つの粉末の平均

程度になり、すべての流体を同様に比較すると、片栗粉単体<片栗粉・コーンスターチ<コーンスターチ単体<片栗粉・キャッサバ澱粉<コーンスターチ・キャッサバ澱粉<キャッサバ澱粉単体になると考えた。

実験 2 は、予備実験と本実験 1 の考察をすすめていくにつれて、ダイラタンシー流体のとり構造について考える必要が出てきたため行った。外部の先生方を招いた研究内容に関する検討会において、ダイラタンシー流体中の落下物の落下速度を測るという方法をアドバイスされたため、このことを参考に片栗粉またはコーンスターチで作られたダイラタンシー流体中での鉄球の落下速度の変化を調べ、ダイラタンシー流体のとり構造を考察した。

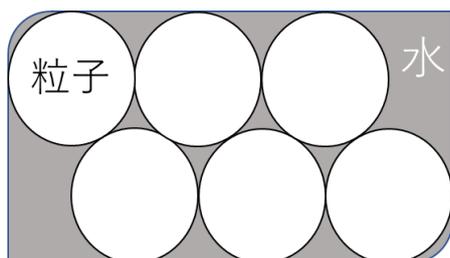


図 1-1. 衝撃のない時の最密構造をとる流体の構造

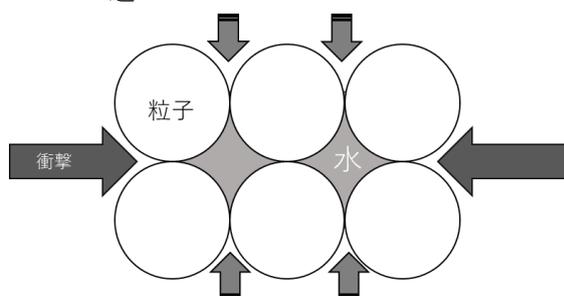


図 1-2. 衝撃を与えられた時の流体の構造

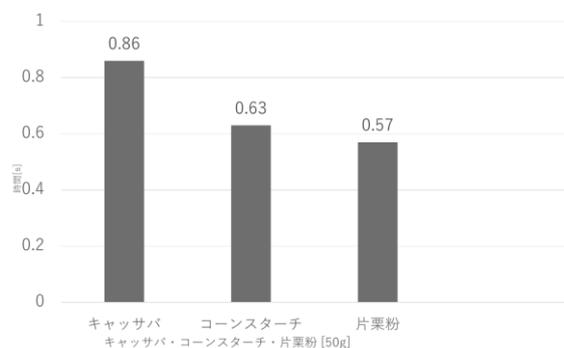


図 2. 予備実験, 実験結果

2. 実験 1

2-1. 研究試料・道具

試料として、予備実験と同様の片栗粉、コーンスターチ、キャッサバ澱粉を使用した。

実験装置には、スタンド、プラスチックボトル(直径約 5.00 cm, 長さ 14.5 cm), 鉄球(直径約 2.50 cm, 質量 67.4 g), 両面テープ(紐を鉄球につけるため), 携帯に内蔵されているタイマー, 紐を用いた。また、実験撮影には、iPhone8 カメラ内のスローモード(1080 p/240 fps)を用いた。(図 3 実験 1 の実験装置)

2-2. 研究方法

片栗粉とコーンスターチ, コーンスターチとキャッサバ澱粉, 片栗粉とキャッサバ澱粉の 3 種類の混合流体で実験を行った。

1 種類の流体に対して, 2 種類の粉末を 40/10, 30/20, 25/25(g/g) で混合し, 水 / 粉末 = 35/50(g/g) で統一した。

紐をつけた鉄球を, 各種流体のはいつているプラスチックボトルの口の高さ(液面から 4.5 cm)から自由落下させる。流体内から鉄球を取り出す際は, あらかじめつけておいた紐をゆっくりと引っ張って取り出す。同種同率の流体で 3 回ずつ, 鉄球が流体面についてから鉄球の上端が完全に見えなくなるまでの時間を計測した。流体内の溶媒の沈殿による計測データの誤差を抑えるため, 1 回の計測ごとに流体を十分にかき混ぜた。

2-3. 結果

この実験の結果は以下の通りである。

なお, 結果は全て秒数で表記されている。これは鉄球が沈み込むまでの時間が長ければ長いほど, その流体のダイラタンシー性が大きいという前提に基づいている。

表 1-1. 40/10(g/g)の実験結果

I. 縦の粉末:40g 横の粉末:10g

	コーンスターチ	キャッサバ澱粉			片栗粉		
コーン		0.96	1.07	1.11	0.71	1.20	1.00
キャッサバ	1.35	1.56	1.46		0.71	0.71	0.91
片栗粉	0.45	0.51	0.61	0.35	0.30	0.29	

表 1-2. 30/20(g/g)の実験結果

II. 縦の粉末:30g 横の粉末:20g

	コーンスターチ	キャッサバ澱粉			片栗粉		
コーン		0.66	0.75	0.70	0.46	0.45	0.44
キャッサバ	1.16	1.21	1.11		0.36	0.50	0.50
片栗粉	0.36	0.30	0.35	0.31	0.35	0.30	

表 1-3. 25/25(g/g)の実験結果

III. 縦の粉末:25g 横の粉末:25g

	コーンスターチ	キャッサバ澱粉			片栗粉		
コーン		1.06	0.96	1.01	0.20	0.25	0.35
キャッサバ					0.40	0.56	0.46
片栗粉							

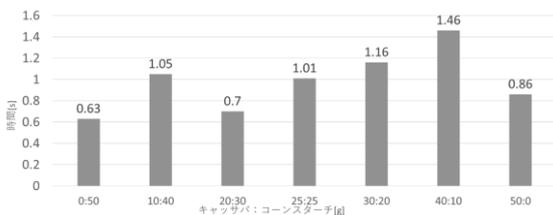


図 4-1. キャッサバ澱粉とコーンスターチの実験結果

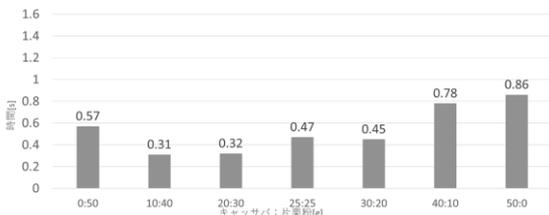


図 4-2. キャッサバ澱粉と片栗粉の実験結果

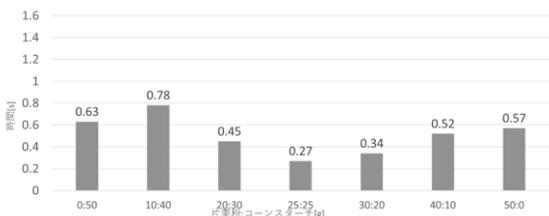


図 4-3. 片栗粉とコーンスターチの実験結果

2-4. 考察

結果から考察されることが以下の 2 つある。

1 つ目は、コーンスターチとキャッサバ澱粉の混合流体は、それぞれ混ぜずに作った単一粉末に

よる流体よりも粘弾性(粘性と弾性を総合的に見た時の性質)が強いことから導き出される。参考資料「でんぷんの種類粒径特性用途」によると、コーンスターチは、ゲル形成力は大きいですが保水性が小さく、逆にキャッサバ澱粉は、保水性は大きいですがゲル形成力は小さい。よって、コーンスターチとキャッサバ澱粉を混合することで、双方の短所を補い合い、長所が相乗的に表れたことで、単一粉末による流体よりも強い粘弾性を示したと考えられる。

2 つ目は、片栗粉を混合した場合に、相対的に単一粉末による流体よりも粘弾性が弱いことから導き出される。3 つの粉の粒径に着目すると、前述した通り、片栗粉の粒径は他の 2 粉末の粒径よりも圧倒的に大きい。従って、片栗粉ともう 1 つの粉を混合し衝撃を加えた時に、片栗粉の粒子同士の間隙にもう 1 つの粉の粒子が入り込み、その粉がダイラタンシーとしての性質を示さなくなってしまうと考える。加えて、本実験では粉末の質量を混合した場合も含めて全て 50 g に揃えたため、片栗粉が混合された流体では、50 g からダイラタンシー性を示さなくなった粉末の質量を除いた分の片栗粉のダイラタンシー性が現れたことより、片栗粉を混合した場合には、単一粉末による流体よりも弱いダイラタンシー性を示したのだと考察した。

3. 実験 2

3-1. 研究試料

試料として予備実験と同様の片栗粉、コーンスターチを使用した。実験装置にはスタンド、プラスチックボトル、定規、鉄球、両面テープ、タイマー、かき混ぜ棒、テープを用いた。また、実験の記録、結果の分析には iPhone8 カメラ内スローモード (1080 p/240 fps)、Excel を用いた。

3-2. 研究方法

片栗粉、コーンスターチをそれぞれ 50 g 用意し、プラスチックボトルでそれぞれ 35 g の水と混ぜ

合わせる。

鉄球に両面テープを用いて、かき混ぜ棒を固定した。かき混ぜ棒の上方には印としてテープを巻き付けた。スタンドの横には定規を固定した(図7)。プラスチック容器の口の高さから、鉄球を自由落下させた。実験の様子を iPhone で撮影をし、動画を分析して鉄球が 0.1 cm 落下するごとにタイマーが示す時間を記録し、Excel を用いて速度を計算し、経過時間と速度の関係を示すグラフを作成した。

3-3. 結果

記録した映像を基に、液面に接してからの鉄球の 0.1 cm 落下するごとの経過時間を測定し、鉄球の沈下速度を計算した。その結果は以下のグラフの通りである。

縦軸は鉄球の沈下速度[cm/s]、横軸は鉄球が液面に接してからの経過時間[s]を示す。

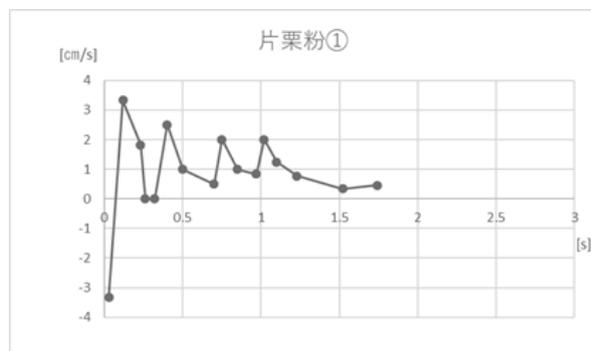


図 5-1. 片栗粉のダイランシーにおける鉄球の沈下速度(1回目)

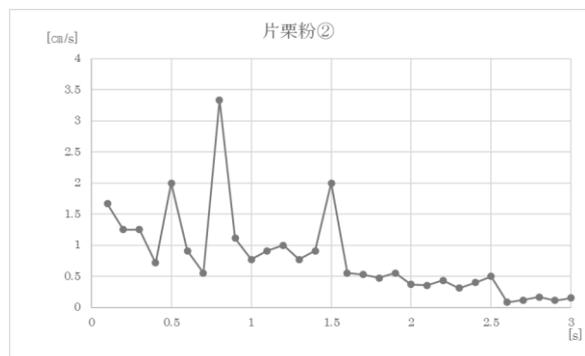


図 5-2. 片栗粉のダイランシーにおける鉄球の沈下速度(2回目)

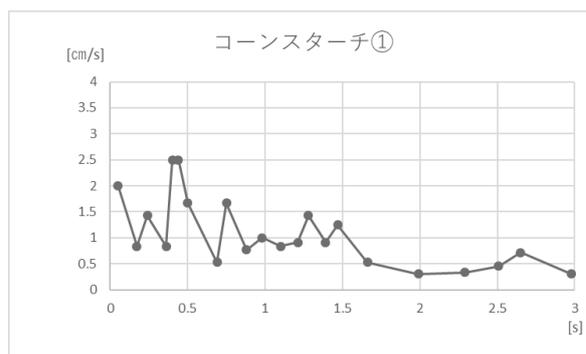


図 5-3. コーンスターチのダイランシーにおける鉄球の沈下速度(1回目)

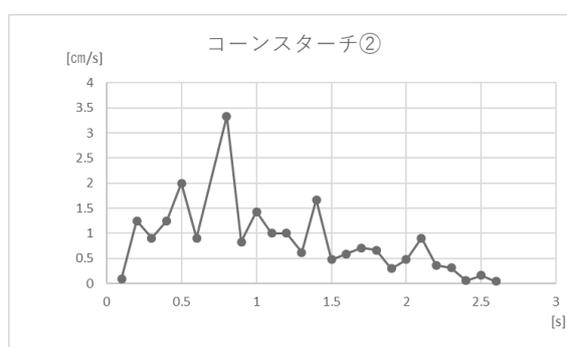


図 5-4. コーンスターチのダイランシーにおける鉄球の沈下速度(2回目)

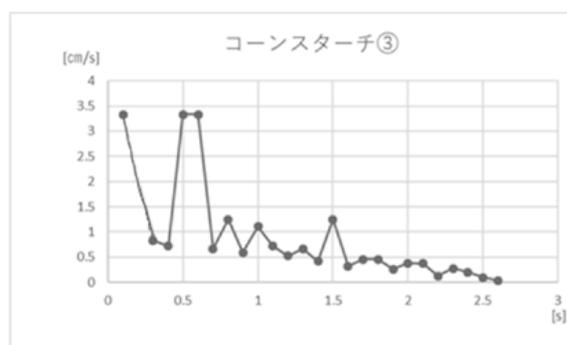


図 5-5. コーンスターチのダイランシーにおける鉄球の沈下速度(3回目)

3-4. 考察

グラフから速度の変化が全体的に激しいことがわかる。また、時間の経過に伴って速度の変化の割合が小さくなっていく様子も見られる。速度が小さくなるのは、自由落下してきた鉄球がダイランシー流体を押しつけて進もうとすることで、せん断

刺激による抵抗力が生まれたことによるものだと考えられる。また、そこから速度が大きくなるのは鉄球が流体の抵抗力によって減速したことにより、せん断刺激が小さくなり、抵抗力が発生しにくくなったことによると推測される。そして流体による抵抗力を受けるうちに鉄球の運動エネルギーが失われ、相対的に速度が小さくなったことにより、その変化の割合が小さくなったと考えられる。

以上のことから私たちは次のような構造モデルを打ち立てた(図 6)。



図 6. 構造モデル

4. まとめと今後の課題

今回の2つの実験から、3つのことが分かった。第一に、懸濁する粉の特性によってダイラタンシー流体が示す抵抗力が異なること。第二に、2種類の異なる粉末を混ぜ合わせてダイラタンシー流体を作ると、1種類のみで作った場合に比べて抵抗力が大きくなったり、小さくなったりすること。第三に、ダイラタンシー流体中の落下物の速さは増減を繰り返し次第に小さく収束していくことである。また、この結果から粒子がサイズの小さい粒子、水を包み込んでしまう構造、力がかかることにより分散媒の密度が大きい層と薄い層に分かれる構造のモデルを打ち立てることができた。

この実験では、各試行の結果の差が大きく出てしまった。原因としては、ダイラタンシー流体中の媒質の沈殿、実験装置と落下物との摩擦などがあげられる。特に媒質の沈殿は、各試行の前に攪拌しているとはいえ、装置への取り付けなどに時間を取られてしまい、その間に沈殿してしまったものと考えられる。また、時間の関係上全体をおし

て十分な試行回数を得られなかったことも課題となる。落下物と装置との摩擦が発生せず、効率的に実験が行える装置の開発が求められる。また、構造モデル製作の点でも粉末の形が完全な球ではないことなど問題点が多くあった。もっと粉の形や特性について迫ることが必要になると考えられる。

5. 参考文献

- 農林水産省, 2019.4.13, でん粉の種類粒径特性用途 https://www.maff.go.jp/j/seisan/tokusan/pdf/27_9_2.pdf, 2019.7.18
- いとう努, 2011.11.26, でん粉の特徴と性質 | 身近な食べ物からはじめる食品学, <https://ameblo.jp/endeavornoun/entry-11077292309.html>, 2019.7.18

6. 添付資料



図 3. 実験 1 の実験装置



図 7. 実験 2 の実験装置

小型回転体を利用したエネルギー貯蔵システム

～ 力学的エネルギーを利用した電力量貯蔵システムの小型化を目指して ～

亀若遼大 高見堂朋大 内藤駿 美濃宏太

要旨

本研究では回転体の力学的エネルギーを用いた電力貯蔵システムの小型化を目指して、単相誘導モーターを用いて充電及び放電をし、モーターに取り付ける円盤の形状を変化させ、電力供給停止後の回転数と回転継続時間を測定する実験を行った。その結果、小型の回転体では、質量分布が異なっても、質量がほとんど等しければ、蓄えることができるエネルギーの量は変化しないことが分かった。しかし、実用的な電力の取り出しと真空中での実験までは至らなかった。

1. はじめに

2018年9月北海道胆振東部で巨大地震が発生し震度7を観測。その際、火力発電所が緊急停止したため北海道で広範囲な停電が発生した。2019年9月、台風15号によって関東地方、特に千葉県では大規模な停電が発生し完全に復旧するまでに多くの月日を要した。

これらのことから今日の日本において、災害対策は急務である。特に、電気は日常生活のあらゆる場面で活用されており、災害時の停電の際には様々な問題が生じる。しかし、すでに家庭向けに実用化されているリチウムイオン蓄電池や燃料電池は高価な場合が多い。そこで、比較的安価で手に入る誘導モーターを用い、電力を回転体の力学的エネルギーに変換した状態で貯蔵しようと考えた。

そこで、我々は回転運動をしている質点1つに蓄えられるエネルギーが(1式)のようになることから、回転体全体では同じ質量でも、回転体を内側より外側が重くなるように設計すれば蓄えられるエネルギーは増加するだろうと考えた。

$$E = \frac{1}{2} m \omega^2 r^2 \quad (1 \text{ 式})$$

E : 質点のエネルギー[J] m : 質点の質量[kg]
 ω : 角速度[rad/s] r : 中心からの距離[m]

また、エネルギーの大きさを測定する方法として電力供給停止後の回転継続時間を利用する方法を考えた。NTN株式会社の「摩擦と発熱量」によると、ベアリングによる摩擦は(2式)のようになり、この値は一定値であることから、エネルギーが大きいほど電力供給停止後の回転継続時間は長くなると考えられる。

$$M = \mu P \frac{d}{2} \quad (2 \text{ 式})$$

M : 摩擦モーメント[N・mm] μ : 摩擦係数
 P : 軸受荷重[N] d : 軸受内径[mm]

本研究で制作した回転体を用いた装置はフライホイールと呼ばれ、大型のものは交通機関や加速器の電源などに用いられている実用化された技術ではあるが、小型のフライホイールに関しての実用例はインターネット等で調査した結果、見つからなかった。そこで、予備実験として重さ33.1gのディスクA(図1)、40.0gのディスクB(図2)を用い、実際に小型であってもエネルギーの貯蔵は可能か否か、形状変化による重心のブレの影響の大きさを調べるために、電力供給停止後の回転数変化と回転継続時間を調べた。その結果、ディスクBがディスクAより長時間回転し、ごくわずかであるが、エネルギーを蓄えることができた。また、

軸のブレは大差なかった。しかし、両者ともに電力供給停止後の回転時間が短かったため、さらに工夫が必要だと考えた。

また、予備実験で用いた回転数計測方法によるディスクの回転数のデータには、いくつか許容できない誤差が見つかった。この方法は赤外線を照射し、ディスク裏面の黒い筋が通過する回数を調べることで、回転数を調べるものであった。しかし、この方法では少しでもディスクが振動してしまうと測定値に大きな影響を与えてしまうことがわかった。そのため、この測定方法によって得られたデータが不確かなものとなった。そこで、本実験では、モーターの発電によって生じる交流電流の周波数を測ることで回転数を導出した。

本研究では回転継続時間が 30 分より長くなり、かつ、直径 20 cm 以内に収まる構造について考えた。また、出力電圧は 5 V を目標値とした。

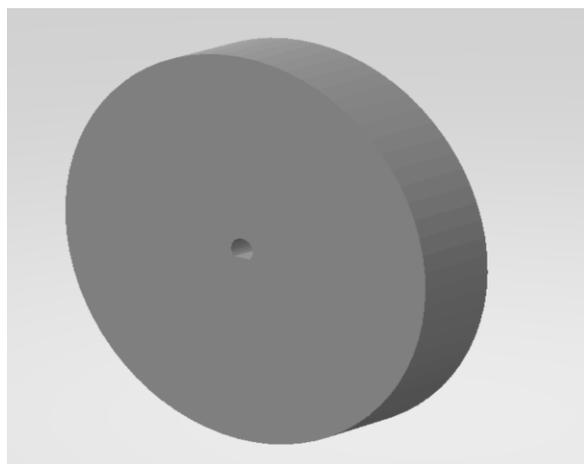


図 1 ディスク A(直径 10 cm)

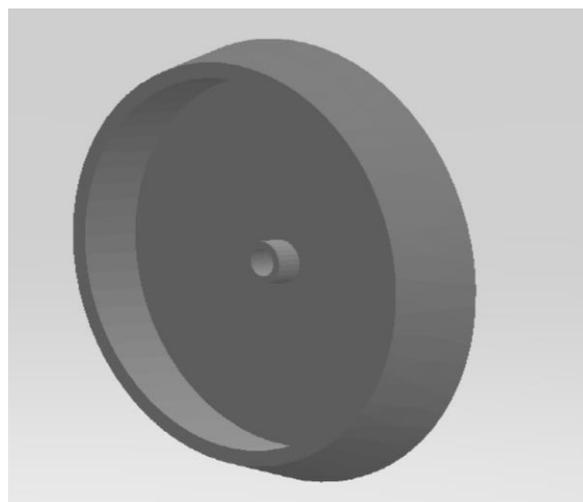


図 2 ディスク B(直径 11 cm)

2. 材料・研究方法

2-1. 研究試料

本実験では 3 種類のディスクを設計した。製作には 3D プリンターダヴィンチ 1.0 pro 3-in-1 を用い、内部構造は格子状とした。ディスク C の重さは 89.7 g、形状は図 3 のように厚さが均一になるように設計した。ディスク D の重さは 81.2 g、形状は図 4 のように中央部がくぼむように設計した。ディスク E は図 5 のように分銅が 4 つ載せられるように設計した。50.0 g 分銅を乗せたときの重さは 303.0 g であった。

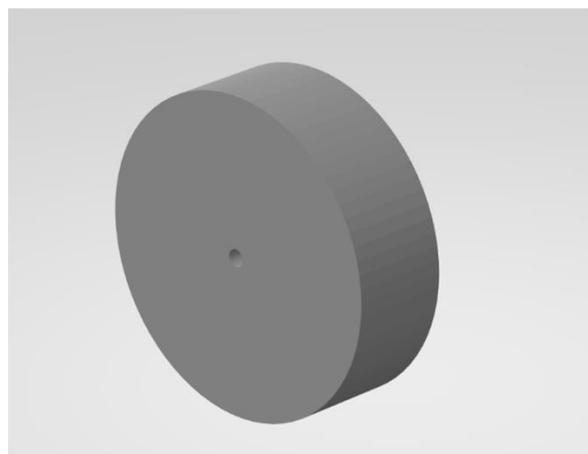


図 3 ディスク C(直径 11 cm)

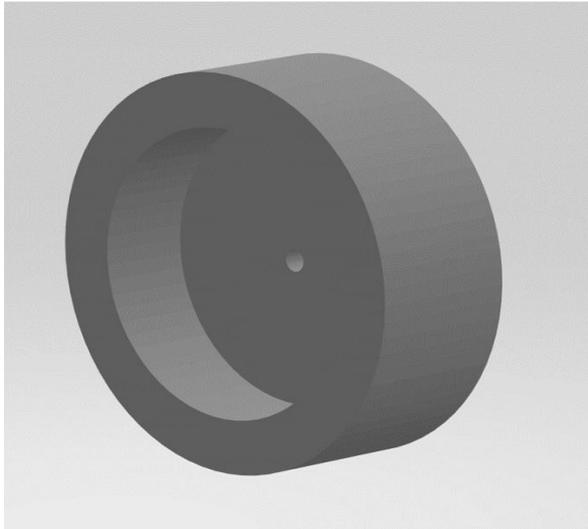


図4 ディスクD(直径11 cm)

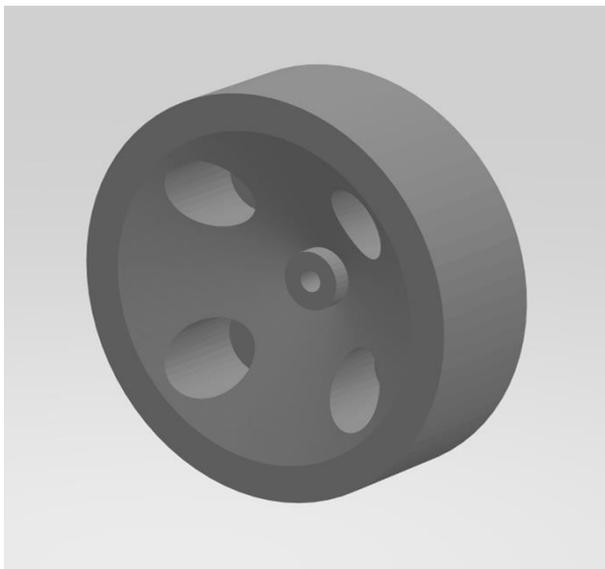


図5 ディスクE(穴の中に分銅が入る. 直径11 cm)

2-2. 実験装置

本実験では、単相交流モーター、オシロスコープ、フィルター回路、パソコンの4種類の実験装置を用いた。順に説明する。

単相交流モーターは扇風機 BO-257 型のモーターのみを取り出し、その軸受けを NTN 株式会社製の外径 10 mm、内径 6 mm のボールベアリングに交換した。尚、ボールベアリングの固定はセメダイン社のメタルロックを用いた。

オシロスコープはテクシオ・テクノロジー社の DSC-1072Bを用いた。

フィルター回路はオシロスコープのノイズ除去を目的とし、図6のようにローパスフィルター回路を用意した。この回路により、発電によって生じた交流電流の周波数を正確に測定することができた。

ノートパソコンはオシロスコープからデータを取得し、解析するのに用いた。解析にはMicrosoftのExcel2016を使用した。尚、オシロスコープへのコマンド送信は手作業であった。

これらの装置を図7のように組み立て実験を行った。

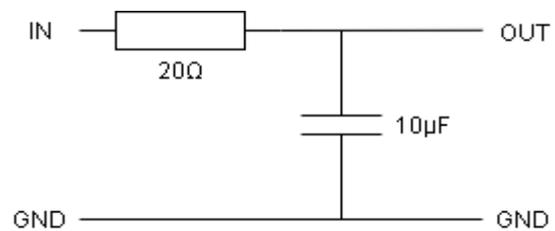


図6 フィルター回路

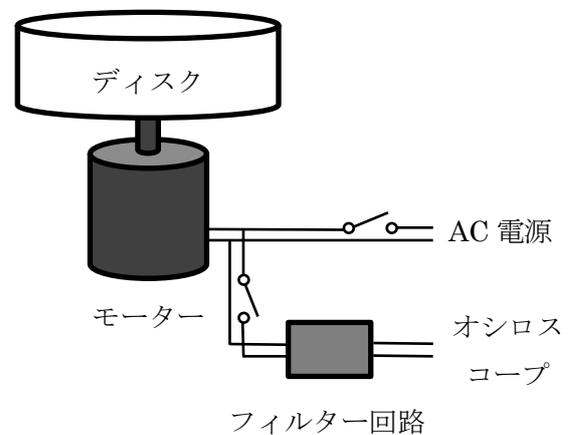


図7 配線・組み立て方

2-3. 研究方法

モーターにディスクを設置し、外部の交流電源により安定するまで加速した。その後、モーターへの電源供給を遮断すると同時に、測定回路へ切り替え、1秒おきに発電で生じた交流電流の周波数を測定した。また、計測開始時の発電した電圧も

測定した。実験は各ディスク 5 回行った。なお、観測地点は 60 Hz 地域の京都市であった。

3. 結果

まず、各ディスクの回転継続時間は表 1 のようになった。

表 1

	回転継続時間[s]	電圧[mV]
ディスク C	312. 69	776
ディスク D	306. 21	952
ディスク E	538. 82	958

また、ディスクの周波数変化は図 8(7. 添付資料)のようになった。縦軸が発電によって生じた交流電流の周波数[Hz]、横軸が電源供給を停止しからの経過時間[s]である。

4. 考察

まず、ディスク C と D の結果から、質量に大きな差がなければ、回転継続時間は形状に依存しないことが推測される。つまり、エネルギーを維持できる時間は形状に依存していないということである。また、電圧の値から C よりも D のほうが貯蔵できるエネルギーが高い可能性が考えられる。しかし、周波数のデータから、C のほうが穏やかに回転数が減少しており、C のほうがエネルギーが高いと考えられるので、矛盾が生じている。よって、電圧を再度測定しなおす必要があると考えられる。

次に、ディスク C と E の結果から、質量を大きくすることで貯蔵できるエネルギー量を増やすことはできることがわかったが、加速するとき C より E のほうがエネルギーを多く使用している可能性があるため、充電時の消費電力についても考える必要がある。

また、電力供給停止後の回転継続時間や発電電圧は目標値よりも大幅に下回った。これは、使っていたモーターの発電効率に依存しているため、モーターを変えることで向上が見込まれると考えられる。

ただし、本実験に用いたオシロスコープによる測定方法では、オシロスコープの内部抵抗により、エネルギー消費が発生するので、電力供給停止後の回転継続時間は本来の時間よりも短くなると考えられる。

これらの結果から、回転体を用いたエネルギー貯蔵システムの小型化は厳しいと考えられる。

5. まとめと今後の課題

5-1. まとめ

回転体の力学的エネルギーを利用したエネルギー貯蔵システムは大型であれば実用化の余地が大いにあるが、小型なものは実用化するのは厳しいと考えられる。

5-2. 今後の課題

本実験では、モーターの発電効率の向上の面や電圧変化について探求することはできなかった。今後は、電気から運動エネルギーへの変換効率や消費電力についても考察していく必要がある。

6. 参考文献

NTN 株式会社, 摩擦と発熱量, https://www.ntn.co.jp/japan/products/catalog/pdf/202_a10.pdf, 2019.12.11

OKAWA Electric Design, 2016.1.31, CR ローパス・フィルタ計算ツール, <http://sim.okawa-denshi.jp/CRlowkeisan.htm>, 2019.12.11

7. 添付資料

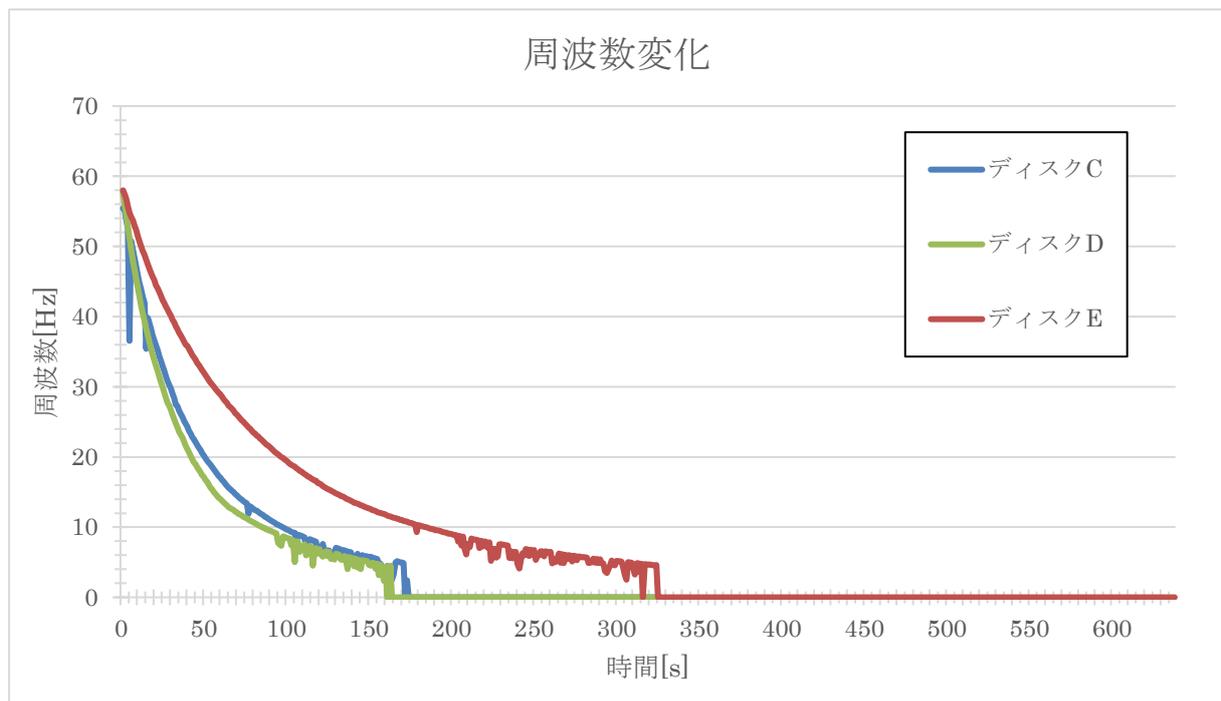


図 8 時間の経過による発電電力の周波数変化

再帰性反射を用いた空間投影装置の作製

図司陽二郎 西岡美南 ブラウン露七 堀本英志

要旨

本研究は物体の虚像を立体的にかつ簡易的にそして全方位から見えるように空間に投影することを目的とした。虚像を作るのに再帰性反射板とハーフミラーを用いた。結果、空間に虚像を投影することには成功した。だが浮かんだ像は暗いうえに上下が逆転したようにみえた。結論として、光の反射のさせ方において装置の改善が必要であった。

1. はじめに

1-1. 研究背景

空間投影技術に関心を抱き、その仕組みを調べるうちに再帰性反射材の存在を知った。再帰性反射材は交通標識などにも使われ、光を入射方向に反射するよう加工を施したものである。再帰性反射の反射を利用した空間投影は平面的なものが多い。例えば ATM は操作画面を空中に浮かばせ、表示の方向の限定性により利用者だけが見えるようにしている。そこで、本研究は物体の虚像を立体的にかつ簡易的に、そして全方位から見えるように空間に投影することを目的とした。ここで Opti-Gone International 製 Mirage 3D Instant Hologram Maker 2000 という製品(図 1)を参考にした。MIRAGE を構成する二枚の回転楕円形のパーツの内側はそれぞれ鏡になっており、上のパーツには穴が開いている。下のパーツの底に置いた物体の虚像を上の方の穴の辺りに立体的にはっきり映し出すことができる。そして MIRAGE の作る像は全方向から観察できる。これが MIRAGE を参考にした理由である。また、再帰性反射材を使う利点は、装置の作りやすさにある。MIRAGE の各パーツは回転楕円形なわけであるが、再帰性反射材を使えば、その反射の特性上、円錐形で代用できる(図 9)。すなわち装置の再帰性反射材の部分を自由に

変形しやすい。

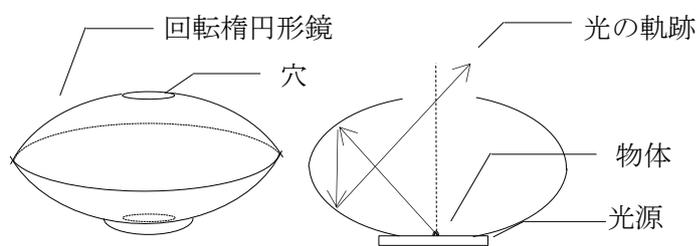


図 1. MIRAGE の全体像と光の軌跡

1-2. 研究概要

MIRAGE の立体性には再帰性反射を用いた平面的な空間投影に通じるところがある。再帰性反射を用いた空間投影装置を一回転させる(図 2)と、MIRAGE と似たものができるかと仮定した。すなわち本研究の目的は、再帰性反射技術と MIRAGE の立体性を結びつける方法の解明であるとも言える。次項以下に示す仮説や実験装置をふまえて、再帰性反射を用いて立体的な空間投影が可能か考察をした。

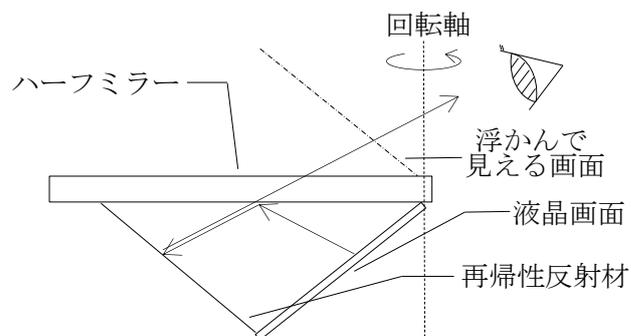


図 2. ATM の空間投影と回転

2. 仮説

目的の装置は、図2のようにしてできると仮定する。更にその際には、回転楕円形鏡を用いた投影装置のような仕組みで虚像ができると仮定した。それらをふまえ、各装置における物体からの光の軌跡を予想して以下の装置を考案した(図3~5)。図5は結像することのない光を少なくするために考案したものである。

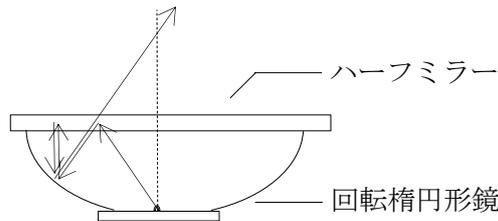


図3. 図2の上面鏡とハーフミラーの交換体

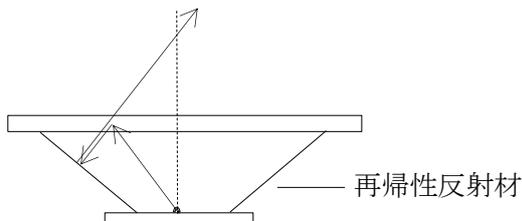


図4. 図3の下面鏡と再帰性反射板の交換体

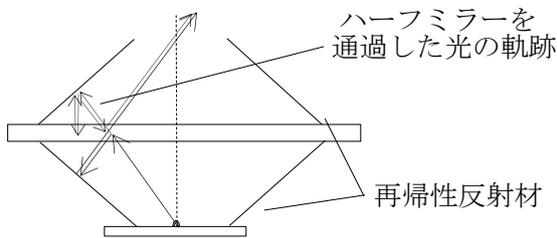


図5. 図4への上面再帰性反射板の追加

※長方形のうち大きい方がハーフミラー、小さい方が光源を表している。また、細い直線が再帰性反射板、光源の上の印が空間投影する対象の物体、矢印が物体から発せられる光の一軌跡(またはその予想)を表している。

3. 材料・研究方法

3-1. 実験1 研究試料と装置の作製

ハーフミラー(30 cm×20 cm)、回転楕円形鏡(MIRAGEの上半分)(底面の半径12.5 cm、穴

の半径3 cm、高さ3.5 cm)、マイクロプリズム再帰反射性シート#55000(株式会社小松プロセス)

(以降再帰性反射シートと呼ぶ)、厚紙、豚のフィギュア(全長2 cm)、スマートフォン(画面を光源として利用)を用いて次に説明する装置A、B、Cを作製した。また、スマートフォンの画面上に豚のフィギュアを置き、これを光源ディスプレイとした。これにより三次元の空間投影を試みた。装置A、B、Cを、それぞれ図3、4、5、を元にして作製した。

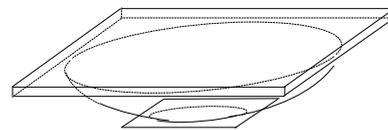


図6. 装置Aの全体図

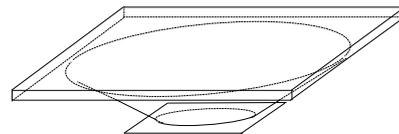


図7. 装置Bの全体図

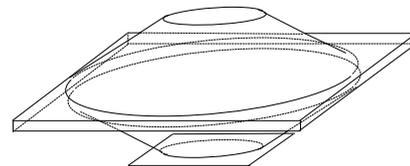


図8. 装置Cの全体図

再帰性反射シートは厚紙に張り付けて円錐台の形にした(図8)(下底面の半径10 cm、上底面の半径2 cm、中心角320°、高さ3.5 cm)。

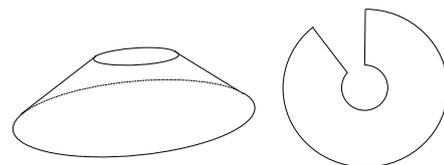


図9. 再帰性反射部分の全体図と展開図

3-2. 実験1 研究方法

作製した3つの装置において、光源ディスプレ

イに表示した画像と豚のフィギュアが、空中にどのように投影されるのか、焦点距離、像の向き、明るさ、ピントに着目して観測し記録した。

3-3. 実験2 研究試料と装置の作製

再帰性反射シート(実験1に同じ)、回転楕円形ミラー、ハーフミラー、レーザーポインター、線香、水槽、乳鉢。

装置 A の上に逆さまにした水槽を被せ、線香の煙で満たし、これを装置 X とした。また、装置 B の上に同様に施したものを装置 Y とした。

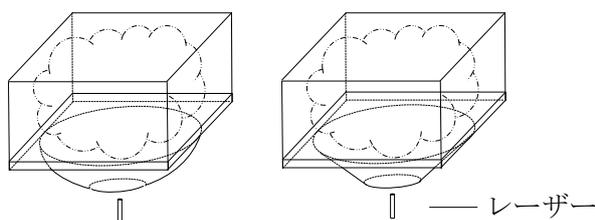


図 10. 装置 X (左) と Y (右) の全体図

※装置の下の円柱はレーザーポインターの位置を表している。

3-4. 実験2 研究方法

実験 2 では、実験 1 で空中に像が確認出来たことをもとにそれぞれの場合において光路を推測し、考察した。そして実際に光路を可視化することで自分たちの立てた仮説との相違を調べるために、以下のように実験 2 を行った。

作製した装置の下(それぞれ装置 X では回転楕円形ミラーの下、装置 Y では再帰性反射シートの下)からレーザーポインターを照射し、レーザー光が作製した装置を通してどのように進むのかを観察した。

4. 実験結果

4-1. 結果 1

上記の実験によって得られた結果をまとめると下図のようになった。

・「像の向き」は光源での像を基準にした「出来た像」の向きについて表している。

・「明るさ」は MIRAGE での像の明るさを

像	MIRAGE	装置 A	装置 B	装置 C
焦点距離	図 11 での f の長さ	左に同じ	左に同じ	左に同じ
像の向き	前後左右逆	前後左右逆	天地逆	天地逆
明るさ	明るい	暗い	暗い	暗い
ピント	はっきりした	僅かにぼやけた	はっきりした	はっきりした

基準にしている。

・「ピント」は「明るさ」と同様に MIRAGE での像のピントを基準にしている。

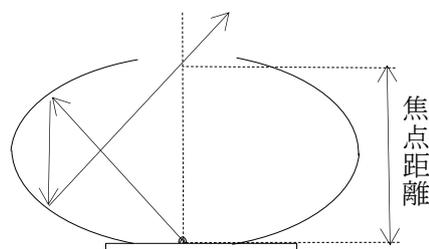


図 11. 焦点距離の定義

4-2. 結果 2

図 12(添付資料)のようなレーザー光の軌跡が見られた。

5. 考察

5-1. 考察 1

①再帰性反射シートを用いて MIRAGE で像が出来た場合と同じ原理の、目標とする装置の作製に成功した。

②作製した装置は定義上、入射角と反射角の \sin の値から「負の屈折率」を持つレンズと見なすことができる(図 13)。

③装置 B, C で見られた像の逆転現象について、見えるはずのない部分が見えるように見えた。(投影する物体[豚のフィギュア]の直接見えないう腹の部分が「出来た像」には鉛直上向きに向いていた)

※図 14 のようにして二つの像が対をなしていると予想した。そして装置 B と装置 C で見られる像の逆転現象について、「MIRAGE と同じく空中に結像した像を見ることが出来るなら装置 B と装置 C における、鉛直上向きの像は可視化できないだけで、実際には存在しているかもしれない」と結論づけた。しかし、鉛直上向きの像が視認出来ない理由については今回の研究では明らかにする事が出来なかった。

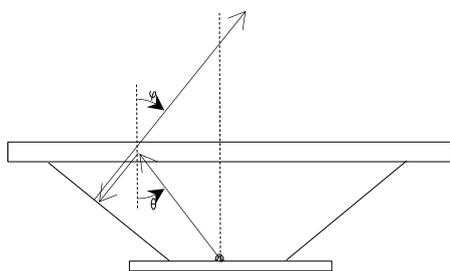


図 13. 負の屈折率

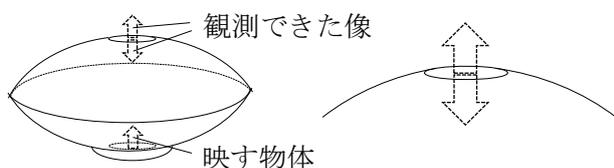


図 14. MIRAGE の像の観察

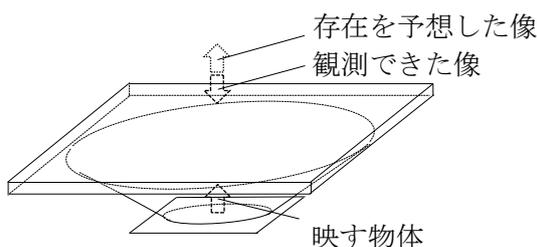


図 15. 装置 B の像の観察

5-2. 考察 2

①実験結果 2 の通り MIRAGE と作った装置 B の光路は異なったが、最終的には二つとも結像する点を通っていたので仮説の光路についての証明がなされた。(ここで装置 A, 装

置 C について触れていないのは、装置 A は写真と図から MIRAGE での光路と等しく、装置 C は像を作るための光路について図 1 と同じであるため)

②ハーフミラーに一度反射した場所と反射した光がもう一度ハーフミラーに反射した場所について、装置 A では各点がれているが装置 B では離れていない、と違いはある。しかし、その差が何に影響を与えているのかまでは分からなかった。

③図 11 により軌跡の予想における仮説との相違は無い事が明らかとなった。ただ、ハーフミラーによってレーザー光は理想的な路線から大きく外れている事も明らかとなったが、装置 B, C のントがはっきり合わなかった事や、装置 C で光量を補う事に失敗した事の原因であると考えられる。

6. まとめと展望

本実験により、再帰性反射を用いれば比較的容易に三次元の空間投影ができることがわかった。しかし結果として生じた像の上下逆転と、その暗さやピントはそれぞれ解明と改善が必要である。逆転については、比較実験を進める中で鏡面反射が像にどう影響するか解明するのに通じるところがあると分かった。というのも光路には表れない鏡面(特に回転楕円形の鏡)特有の反射の存在が伺えるために、再帰性反射を用いた時の像と比較することでその大まかな特性が明らかになりうるからである。ピントと明度については、我々の研究の最終目的である空間投影装置の作製に向けてパフォーマンス性の改善の必要性が見られた。これらの関係性は深く、ピントが正確に合う装置 A が作れば、必然と装置 C が明度を増すのに仕事をできるようになるであろう。今後は以上の更なる研究が必要である。

7. 参考文献

Double Fox WebsitesStevens Magic Emporium
<https://www.stevensmagic.com/shop/mirage-3-d-instant-hologram-maker/>

8. 添付資料

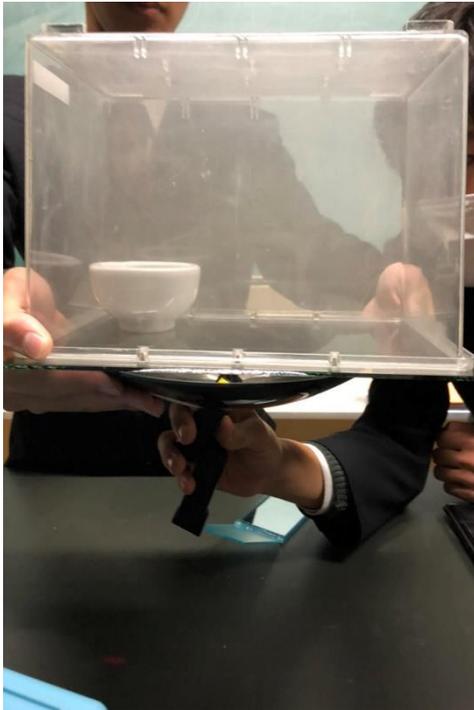


図 12-1. 装置 X の外観



図 12-2. 装置 X での光路の観察

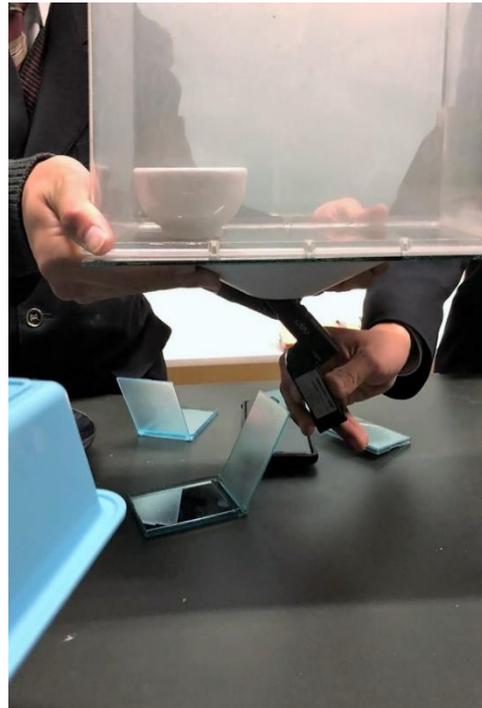


図 12-3. 装置 Y の外観

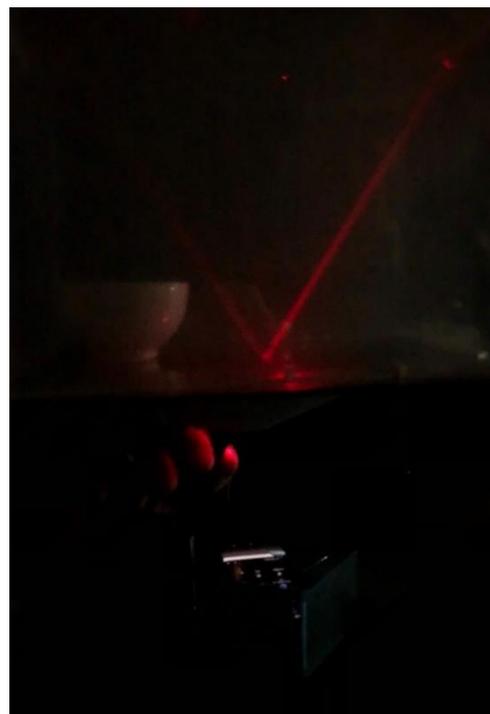


図 12-4. 装置 Y での光路の観察

領域内の点からの距離の最大値を最小化するような2点の配置

今井 翔太

要旨

三角形の領域 D の内部に点 P をとり、領域内の点 X からの距離 $D(P,X)$ の最大値 $\max_{X \in D} D(P,X)$ を最小化する P の位置について考える PISA の 2003 年の問題について、点 P を複数の点 P_1, P_2, \dots, P_n に拡張して考察した。領域が正三角形で $n=2$ の場合について結論を得た。

1. はじめに

前述の問題を作成するにあたって参考にした 2003 年 PISA (Program for International Student Assessment, OECD 学習到達度調査) の問題文は、以下である(日本語版)。

「町議会は、小さな三角形の形をした公園に一本の街灯を設置することにしました。その街灯は、公園全体を照らすものとします。街灯はどこに設置したらよいでしょうか。」(参考文献による。)

この問題は以下の問 1 のように解釈できる。

問 1: 「一辺の長さを W とする正三角形の周上及び内部からなる領域 D を考える。 D 内の点 X と点 P の距離 $d(X,P)$ の最大値 $\max_{X \in D} d(X,P)$ を最小化する点 P の位置を求めよ。
また、その時の距離 $L = \min_{P \in D} \max_{X \in D} d(X,P)$ の値はなにか。」

問 1 の答えは「 P は D の外心に一致し、 $L = \sqrt{3}A/3$ 」である。

この問題は点 P のかわりに点の集合 $\{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ を考える問題に拡張できる。

今回は $n=2$ として、 P_1, P_2 の 2 点について考えた。すなわち、

問 2: 「一辺の長さを W とする正三角形の周上及び内部からなる領域 D を考える。 D 内の点 X と点の集合 $\{P_n \mid n=1,2\}$ の距離 $\min_{n=1,2} d(X,P_n)$ の最大値 $\max_{X \in D} \min_{n=1,2} d(X,P_n)$ を最小化する点 P_n の位置を求めよ。

また、その時の距離 $L = \min_{P_1, P_2 \in D} \max_{X \in D} \min_{n=1,2} d(X,P_n)$

の値はなにか。」

について考察した。

仮説として P_1, P_2 のうち一方は領域 D をなす正三角形の 1 頂点に一致し、他方はその対辺の midpoint に一致し、また、 L は領域 D を為す正三角形の一辺の半分になると考えた。

2. 研究方法

領域 D を 2 つの円で包含することを考え、この 2 円の半径の最大値を最小化するような、2 円の中心の配置を考える。

この時、2 円の中心の存在範囲が求める 2 点 P_1, P_2 の存在範囲であり、また、 L の値はこの時の

2 円の半径の値に相当するので、それら、2 円の中心の存在範囲と、2 円の半径の最大値の最小値について考察した。

3. 結果

以下の定理を得た。

定理:問 2 の最小値を与える P_1, P_2 は、領域 D を為す正三角形の一辺の中点に一致し、もう一方は、向かいあう頂点を中心として半径 $W/2$ 、中心角 $\pi/3$ の扇形の周上および内部からなる領域 Z_3 に存在する(図 3)。

証明は以下である。

ここで、 $d(X, P_1), d(X, P_2)$ のうち、 $d(X, P)$ のほうが小さいとき、 X が P_i を指定すると定義する ($i=1, 2$)。

まず、 L の求値に関して、3 点 A, B, C がそれぞれ 2 点 P_1, P_2 を指定することから、鳩ノ巣論法より、 P_1, P_2 のいずれかは A, B, C のうち 2 つ遺贈の点から指定される。よって、次の 2 つを考えれば十分である

(パターン 1) A, B が P_1 を指定する

(パターン 2) A, B, C が P_1 を指定する

(パターン 1) のとき

$\max\{d(AP_1), d(BP_2)\}$ を最小化するような P_1 は、線分 AB の中点に一致する、ということができる。 A, B は領域 D の正三角形の 3 頂点のうちの 2 頂点であることから、線分 AB の長さは W であるので、 $L = W/2$ 。

(パターン 2) のとき

$\max\{d(AP_1), d(BP_1), d(CP_1)\}$ を最小化するような P_1 の配置は、問 1 より三角形 ABC の外心に一致する。

ここで、 A, B が P_1 を指定するときの L は $W/2$ となり、 A, B, C が P_1 を指定するときの L は $\sqrt{3}W/3$ となるから、最小値は $L = W/2$ と予想される。

次に、 $L = W/2$ を示すために、半径 $W/2$ の 2 円 C_1, C_2 により領域 D を被覆することを考える。 C_1, C_2 のうち一方(ここでは C_1 を選んで)、 C_1 は、領域 D をなす正三角形の一辺を直径とするように配置してよい。

そして、領域 $Z_1 = D - C_1$ (図 1) を C_2 で被覆することを考える。

C_2 の中心 O_2 について、題意を満たすような O_2 は、図 5 の領域 Z_2 に存在する。

以上から、求める問 2 の答えは、上記の領域は $Z_3 = D \cap Z_2$ である。

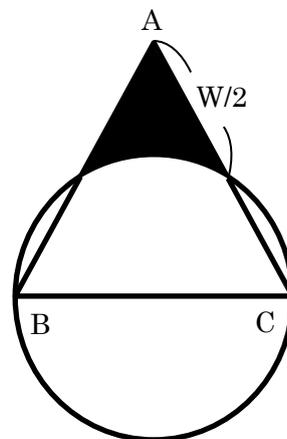


図 1(上図の塗りつぶされた部分が領域 Z_1)

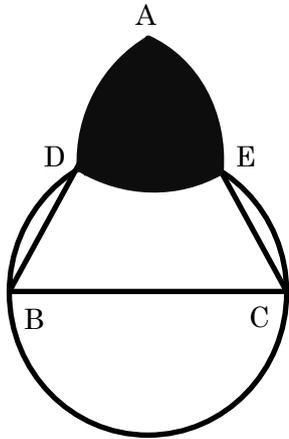


図 2(上図の塗りつぶされた 3 点 A, B, C を頂点とするルーローの三角形が領域 Z_2)

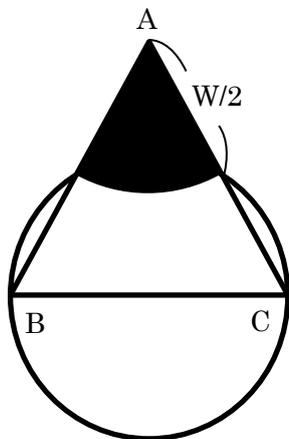


図 3(上図の塗りつぶされた部分が領域 Z_3)

定理の主張を言い換えると、1 頂点を中心として半径 $W/2$ の円 C_2 をかいたとき、2 点 P_1, P_2 の一方は C_2 と領域 D の共通範囲、すなわち Z_3 に存在し、他方は対辺の中点に一致すると分かった。

4. 考察

問 2 の答えを出すにあたり、 $n=2$ のとき、まず L の最小値を求めたあとに必要十分条件を得られたことから、 $n \geq 3$ の場合も最初に L の最小値を求めれば、必要十分条件にたどりつくと予想される。

また、この考え方は、領域 D の形を異なる三角形に変えた時も有効だと考えられる。具体的には、今後の課題にて述べる。

また、領域の形を一般の三角形としたとき、問 2 の L に相当する値は、領域をなす三角形の最長辺の半分以下の値とすることができるだろうと考えられる。

5. 今後の課題

今後の課題として、問 2 の $n=3, 4, 5, \dots$ の場合の考察がある。

また、領域 D をなす図形を正三角形から、二等辺三角形、一般の三角形や円、四角形(例えば正方形、長方形、一般の四角形)にした考察が残っている。このとき、 L を求める際、考察の対象となる図形(領域)が決定した後に、それを包含する 2 円の半径の最小値(すなわち問 2 の L にあたるもの)についての考察を進めることなどが挙げられる。

6. 参考文献

Watanabe Ryou, 2004, PISA 2003 年調査評価の枠組み OECD 生徒の学習到達度調査 知識と技能 – OECD iLibrary, <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/9784324074077-ja.pdf>, 2019.2.6

ウボンゴのピースの配置が一意になる条件

松田 与

要旨

ウボンゴとは KOSMOS 社のゲームで、いくつかのつながった正方形から成る盤面に対応するピースの組を隙間なく配置するゲームである。本研究では、盤面にピースを置く方法が一意になる条件を探した。結果、ウボンゴの盤面では、盤面の中で他の正方形と一辺しか隣接しない正方形の数が多く、ピース同士の隣接する辺の長さが長いことがピースの配置の一意になりやすさに関係があることが分かった。また、盤面の周の長さから盤面の正方形の数を引いた数が 5 である時、最も一意になりやすいと分かった。ウボンゴのピースを用いてランダムに作った盤面では、異なる関係が見受けられた。

1. はじめに

ウボンゴとはいくつかのつながった正方形から成る盤面に対応するピースの組を隙間なく配置するゲームである。詳しいルールについては参考文献をみられたい。

ウボンゴでは、ピースの置き方が二種類以上あるものもあり、それによりゲームが不公平になっていると考えた。よって、ある盤面とピースの組み合わせに対して、その置き方が一つしかないものを一意であるものと考えた。一例として、一意でない例を図 1-1、図 1-2 で示す。

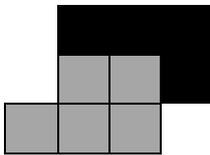


図 1-1

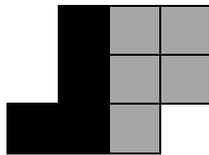


図 1-2

ウボンゴの盤面は、一つの盤面に 6 つのピースの組み合わせが書かれていて、盤面に穴が開いていたり、出っ張っているところが折れ曲がっていたり分かれていたりして、あるピースでないと埋め

られないような出っ張りは存在しない。また、盤面自体が点対称であるものや、線対称であるものはない。出っ張っているところが分かれている例と穴が開いている例を示す(図 2-1、図 2-2)。

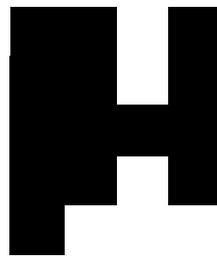


図 2-1

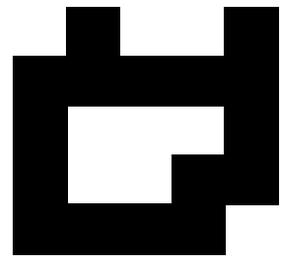


図 2-2

また、ウボンゴのピースは図 3 の 12 種類がある。

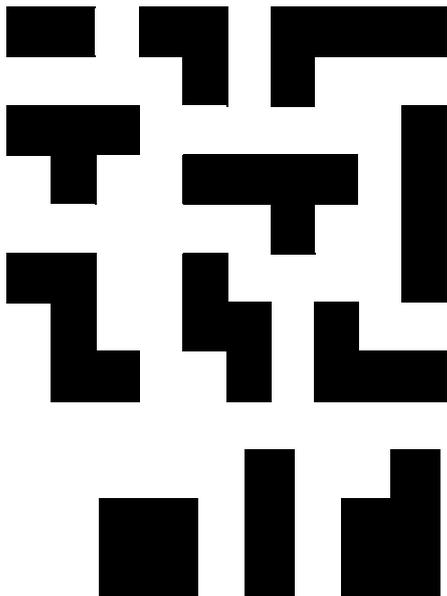


図 3

2. 研究方法

本研究では、最小の正方形の一辺の長さを 1 とする。この時ウボンゴの盤面の面積は 11 から 14 までである。また、ピースを 3 つ使うときについて調べた。

まず、一意になりやすい条件として、つぎの三つを考える。

一つ目は、盤面の凸の数(A)が大きいことである。ここで凸とは、盤面の中で他の正方形と一辺しか隣接しない正方形のことである。凸が多いとピースの種類や向きが制限されると考えられる。例えば細長い突起を持つ盤面(図 4)を考えると、細長い突起の部分埋めるためには、細長いピースを使い、かつそのピースをその突起の向きに配置しなくてはならないため、かなり置き方が制限される。よって、一意になりやすいと考えられる。

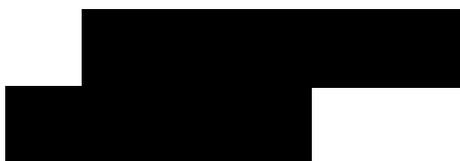


図 4

二つ目に、ピースの隣接する辺の長さ(B)を考える。例えば図 5 では B は 6 となる。

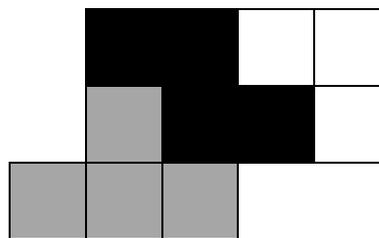


図 5

この時、B が小さいことを 2 つ目の条件として考える。その理由として、盤面にピースを置く方法は、盤面を区切る方法と関係があり、B が極端に大きいか小さいと少なくなることが挙げられる。ピースの個数や面積が小さいので、B は極端に大きくはならないだろうと考えられるので、このような条件にした。

三つ目は、盤面の周の長さから盤面の正方形の数を引いたもの(C)が大きいことである。C が大きいほど、凸の数(A)が大きくなりやすいため、これを設定した。この時、隣接する辺の数が少なくなってしまうが、凸の数のほうが、影響が大きいと考えられる。

まず、ウボンゴを用い、置き方が、二つ以上あるものを探し、立てた仮説が正しいかを調べた。その次に、大きさが 14 で穴がなく、凸が折れ曲がっていない盤面を 50 個作り、その中から、無作為に、30 個選び、一つの盤面に一つのピースの組み合わせを対応させた。そして仮説が正しいかを調べた。

3. 結果

以下の表 1 から表 6 のような結果を得た。

表では、一意である盤面の数を X, 一意でない盤面の数を Y とした。

表 1(ウボンゴ)

A	X	Y	一意である割合 $\frac{X}{X+Y}$
0	22	14	0.61
1	72	36	0.67
2~	50	22	0.69

表 2(ウボンゴ)

B	X	Y	一意である割合 $\frac{X}{X+Y}$
4	1	2	0.33
5	21	13	0.62
6	66	34	0.66
7	46	21	0.69
8	10	2	0.83

表 3(ウボンゴ)

C	X	Y	一意である割合 $\frac{X}{X+Y}$
3	16	14	0.53
4	32	28	0.53
5	74	16	0.82
6	15	9	0.63
7	7	5	0.58

表 4(自作の盤面・面積 14 のもの)

A	X	Y	一意である割合 $\frac{X}{X+Y}$
0	3	5	0.38
1	12	1	0.92
2~	6	3	0.67

表 5(自作の盤面・面積 14 のもの)

B	X	Y	一意である割合 $\frac{X}{X+Y}$
6	5	0	1
7	14	7	0.67
8	2	2	0.5

表 6(自作の盤面・面積 14 のもの)

C	X	Y	一意である割合 $\frac{X}{X+Y}$
2	2	2	0.5
4	12	7	0.63
6	5	0	1
8	2	0	1

表 1 と表 4 において、A が 3 以上のものは、A=3 のものが一つあるだけなので、2 以上としてまとめた。

4. 考察

ウボンゴ製品版の盤面の一意である割合は次のように考察できる。

- 表 1 から A が大きいほど配置の方法は一意になりやすいと考えられる。
- 表 2 から B が大きいほど一意になりやすいと考えられる。
- 表 3 では、C が 5 の時に $\frac{X}{X+Y}$ の値が著しく高い。

表 1 については、当初に予想された結果を得た。

表 2 について、仮説では B が極端に小さいとき一意になりやすいとしたが、B=3 や B=2 などの盤面はウボンゴになかった。理由として、ウボンゴ

では一つの盤面に対応するピースの組み合わせが 6 つあり、そのような盤面では長方形に近い形になりやすいことがあげられる。

表 3 について、使用するピースの個数が 3 つより多い場合には、C が 6 以上のときに $\frac{X}{X+Y}$ の値のピークが来ると考えられる。

本研究で作った盤面の一意である割合は次のように考察できる。

- 表 4 から、A が 0 の時より 1 以上の時の方が一意になりやすい。また、 $A \geq 2$ の時より $A=1$ の時の方がはるかに一意になりやすいという結果が得られた。
- 表 5 から、B が小さいほど一意になりやすいという結果になった。
- 表 6 から、C が大きいほど、一意になりやすいという結果が得られた。

表 4 については、今回考察した盤面の数が少ないため、結果が偏ってしまったからだと考えられる。また、面積が 14 のものを作る際、ピースの大きさが 4 か 5 のものしか使わないため、直線的なピースの数が減ってしまったことも関係していると考えられる。

ウボンゴの結果(表 2)と違い、自作の盤面を用いた結果(表 5)では B が小さい値のとき一意になりやすく、当初の仮説通りの結果が得られた。

今回作った盤面は、ウボンゴでの盤面とは違い、対応するピースの組み合わせが 1 つだけだった。したがって、長方形に近くない形の盤面も作られ、隣接する辺が短い盤面も作られた。よって当初の仮説通りの結果が得られた。

表 6 については仮説通りの結果が得られた。

5. 今後の課題

一般的な図形のデータが少なく、仮説が正しいかの検証が足りていないため、データを増やし、盤面の大きさが 11, 12, 13 の時も考察する必要がある。また、データを増やした後、ウボンゴの盤面のデータとどのような差ができるか、それは何によるのかについても考察したい。

6. 参考文献

KOSMOS 社, Ubongo - Neue Edition,

<https://www.kosmos.de/spielware/spiele/famifamiliensp/7445/ubongo-neue-edition>, 2020.2.7

GP ゲームス, ウボンゴスタンダード, 2018.9.30

<http://www.hyakuchomori.co.jp/toy/p/GP0000.html>, 2020.2.7

ババ抜きにおけるジョーカーの初期位置と勝率の関係

北山太陽

要旨

ババ抜きにおけるジョーカーの初期位置と勝率の関係を計算するため、ババ抜きを簡略化したモデルについて確率を計算した。計算については、まず少ない人数の場合を調べてから一般化するという方法をとった。計算の結果、設定したモデルでははじめにジョーカーを持ったプレイヤーの勝率が最も高いという結論を得た。

1. はじめに

ババ抜きを数学的に考察するにあたり、今回はカードを等確率で選ぶ、として話を進める。Sumsum88氏による先行研究では、3人でババ抜きをした時の最初の手札の枚数や勝率がプログラミングによって調べられていたので、この研究結果を参考にして研究を進めた。

まず、最初にジョーカーを持っていた人の勝率が最も低いという仮説を立てて実験を行った。

さらに、ババ抜きを簡略化したモデルを考え、初めに3人の場合、最終的にN人の場合について考えた。

2. 研究方法

まず、N人でのババ抜きでの確率を求めるために3人(A, B, C)でのババ抜きを考えた。この時計算をしやすくするため、次の6つの条件を加えて考えた。

1. カードを引いたとき、 $\frac{1}{x}$ の確率でペアができる。
2. カードを引いたとき、 $\frac{1}{y}$ の確率でジョーカーが移動する。
3. 引いたカードでペアができることとジョーカーが移動することを独立した事象とする。
4. 最初の各人の手札の枚数は7枚とする。

5. 手札が0枚のプレイヤーがあらわれたとき、ジョーカーを持っているプレイヤーの負けとする。
6. はじめにジョーカーを持っているのはAさんとする。

実際のババ抜きでは、ペアができる確率やジョーカーが移動する確率は場に存在するカードの残り枚数に依存するが、簡単のために条件1, 条件2, 条件3を設定した。また、先行研究によれば3人でのババ抜きにおける手札の枚数の最頻値が7枚であるため、条件4を設定した。さらにプレイヤーが3人の場合の手札のやり取りのみを考察するため、条件5を設定した。

これらの条件の下で、確率の計算のために図を描いた。(図1)

図1は、縦軸がゲームが始まってから何周目かを表している。図中の数字はその時持っているカードの枚数を表していて、例えば1段目ではすべてが7枚だが2周目には5枚と7枚がある。横軸が確率を表していて、全体の幅が1になっている。上の段に対して、1つ下の段は $1:(x-1)$ に分割されている。例えば2周目の手札が確率 $\frac{1}{x}$ で5枚に、確率 $\frac{x-1}{x}$ で7枚になることが表から読み取れる。そして、黒く塗りつぶされているところが0枚、つまりあがりのところである。

これによって、 n 周目の手札の枚数の確率分布が分かるので、それをもとに n 周目にあがる確率を求めた。

この確率は各周での手札枚数を調べ、それを一般化することで表すことができる。

次に、 n 周目に A, B, C がジョーカーを持って
いる確率 A_n, B_n, C_n を求めた。

このとき例えば A が負ける確率 F_A は

$$\sum_{n \geq 4} (k \text{ 周目に B があがる確率}) \times \left(\frac{A_n}{1 - B_n} \right) + \sum_{n \geq 4} (k \text{ 周目に C があがる確率}) \times \left(\frac{A_n}{1 - C_n} \right)$$

で求められると考えられるため、これを計算した。

同様に F_B, F_C についても求めた。

最後に 3 人の場合をもとにして N 人の場合の負ける確率を求めた。

3. 結果

各人の n 周目にあがる確率は $x=3$ のとき、

$$n=4 \text{ で } p_4 = 1/3^4$$

$$n=5 \text{ で } p_5 = 2(3+1)/3^5$$

$$n=6 \text{ で } p_6 = 4(6+3+1)/3^6$$

同様に、

$$p_n = (x-1)^{n-4} (1 + 3({}_{n-3}C_2 + {}_{n-4}C_3)) / x^n$$

となる。

また、 n 周目にあがりが出たとき A, B, C の、各人がジョーカーを持つ確率を A_n, B_n, C_n とおくと、

$$A_n = \frac{\sum_{k=1}^{\lfloor \frac{n}{3} \rfloor} (y-1)^{n+3-3k} {}_n C_{3k-3}}{y^n} + \frac{(y-1)^{n-3} {}_{n-3} C_3}{y^n}$$

$$B_n = \frac{\sum_{k=1}^{\lfloor \frac{n}{3} \rfloor} (y-1)^{n+2-3k} {}_n C_{3k-2}}{y^n}$$

$$C_n = \frac{\sum_{k=1}^{\lfloor \frac{n}{3} \rfloor} (y-1)^{n+1-3k} {}_n C_{3k-1}}{y^n}$$

となった。

これにより、A が負ける確率 F_A は

$$F_A = \sum_{n \geq 4} \left(1 - \sum_{k=4}^n p_n \right) \left(1 - \sum_{k=4}^{n-1} p_n \right) p_n \cdot \frac{A_n}{1 - B_n} + \sum_{n \geq 4} \left(1 - \sum_{k=4}^n p_n \right)^2 p_n \cdot \frac{A_n}{1 - C_n}$$

B が負ける確率 F_B は

$$F_B = \sum_{n \geq 4} \left(1 - \sum_{k=4}^{n-1} p_n \right)^2 p_n \cdot \frac{B_n}{1 - A_n} + \sum_{n \geq 4} \left(1 - \sum_{k=4}^n p_n \right)^2 p_n \cdot \frac{B_n}{1 - C_n}$$

C が負ける確率 F_C は

$$F_C = \sum_{n \geq 4} \left(1 - \sum_{k=4}^{n-1} p_n \right)^2 p_n \cdot \frac{C_n}{1 - A_n} + \sum_{n \geq 4} \left(1 - \sum_{k=4}^n p_n \right) \left(1 - \sum_{k=4}^{n-1} p_n \right) p_n \cdot \frac{C_n}{1 - B_n}$$

と求められた。

ここで $x=3, y=3$ のとき、

$$F_A = 0.311329$$

$$F_B = 0.351190$$

$$F_C = 0.353388$$

であり、 $F_A + F_B + F_C = 1.01591$ となり 1 を超えていた。

x, y の値をいろいろ変えてみたが、A が負ける確率が一番低いということは変わらず、最初にたてた仮説とは逆の結果になった。

ここから、 N 人の場合へと一般化する。 N 人を $A_1, A_2, A_3 \dots A_N$ として、最初にジョーカーを持っている人を A_1 とすると、 N 人のババ抜きで A_i が負ける確率 $F_{A_i}(N)$ は、 A_i が n 周目にジョーカーを持つ確率 $Y_n^{(i)}$ を使って

$$F_{A_i}(N) = \sum_{n \geq 4} \sum_{i \neq k} \left(1 - \sum_{j=4}^n p_j\right)^{i-1} \\ \times \left(1 - \sum_{j=4}^{n-1} p_j\right)^{N-i} \times \frac{Y_n^{(i)}}{1 - Y_n^{(i)}} \times p_n$$

ただし

$$Y_n^{(i)} = \sum_{1 \leq k \leq \frac{n}{N}} \frac{1}{y^n} (y-1)^{n-N(k-1)-i+1} \\ \times {}_n C_{n-N(k-1)-i+1} + r_i, \\ r_i = \begin{cases} \frac{(y-1)^{n-3} \cdot {}_{n-3} C_3}{y^n} & (i=1) \\ 0 & (i \neq 1) \end{cases}$$

となった。

4. 考察

A が負ける確率が一番低い理由としては、最初にジョーカーを手放せる位置であること、人数が増えれば2周目以降、ジョーカーがAに帰ってくる可能性が下がるので1周目の最初にジョーカーを持っていると勝ちやすいことが考えられる。また、この確率は1人があがったときにジョーカーを持っていた人が負けたとしたモデルでの確率であるから、実際のババ抜きについては異なること考えられる。

そして、N人でのババ抜きで勝率が一番均等になっている状態を適切な確率である、と考えると3人の時でx=3, y=3の時が最もババ抜きとして適切な確率が出たが、確率の合計値が1を超えてしまっていた。この理由については、まだ説明できていないが、誤差が積み重なって出てきたものではないか、と考える。

5. まとめと今後の課題

今回条件を加えた状態では、最初にジョーカーを持っている人が一番勝ちやすいという仮説と逆の結果になったが、一般のババ抜きでもこの事実が正しいかどうかまでは求めることができなかった。今後は、x, yがどのような場合にババ抜きとして適切な値が出るのかを調べ、研究方法で述べた条件1~5をなくし、一般化したババ抜きでの負ける確率を求める。また、確率の合計が1にならない理由についても考える必要がある。

6. 参考文献

Sumsum88, 2019.11.28, ババ抜き, 奇数枚の人勝ちやすい説を検証, <http://sumsum88shatenablog.com/entry/2017/12/02/170152>

7. 添付資料

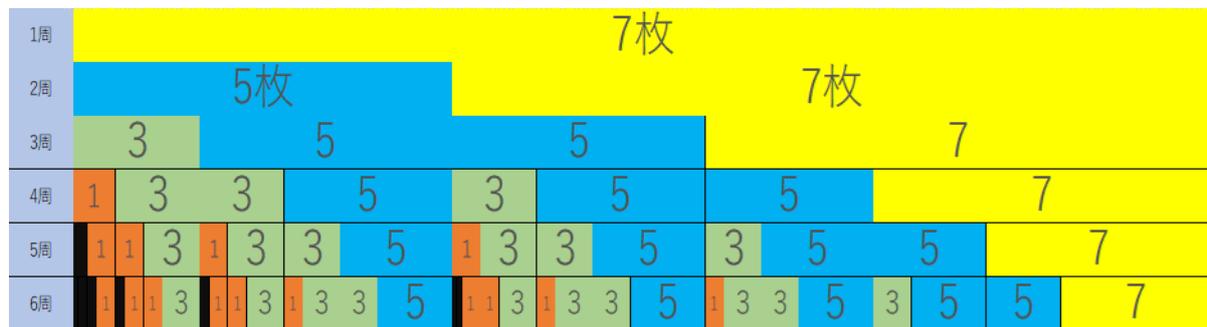


図1 3人でのババ抜きの周ごとの手札枚数の変化(x=3のとき)

内心の x 座標は

$$\frac{-4\sqrt{(4-a)^2+8^2}+4\sqrt{(a+4)^2+8^2}+8a}{8+\sqrt{(a+4)^2+8^2}+\sqrt{(4-a)^2+8^2}}$$

y 座標は

$$\frac{64}{8+\sqrt{(a+4)^2+8^2}+\sqrt{(4-a)^2+8^2}}$$

となる.

仮説 3 について点 C を一般の直線 $y = mx + n$ 上で動かしそのときの距離 CM が最小である点において, 軌跡の y 座標が最大値もしくは最小値をとるかを調べた.

3 結果

3-1 GeoGebra での軌跡の表示

点 C を $y=8$ 上で動かしたときの軌跡を GeoGebra で表示させると

- 重心は直線 AB と平行な直線である

$$y = \frac{8}{3}$$

- 外心は y 軸上
- 垂心(図 I)は放物線

$$y = -\frac{x^2}{8} + 2$$

- 内心は図 II
- 傍心は図 III

の軌跡を描くことがわかった.

しかし内心(図 II), 傍心(図 III)の軌跡に関しては方程式が表示されなかった.

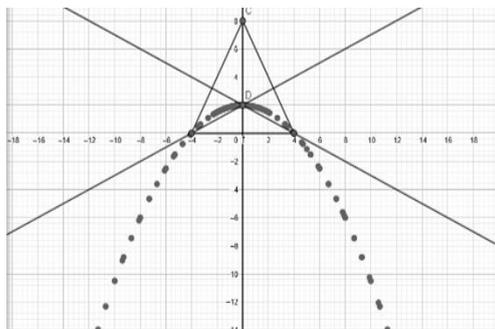


図 I 垂心の軌跡

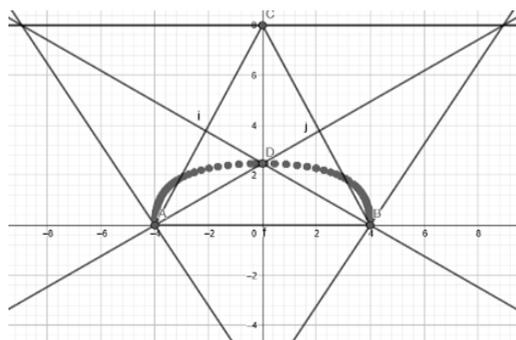


図 II 内心の軌跡

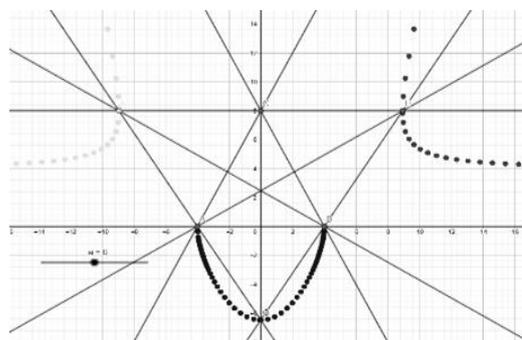


図 III 傍心の軌跡

3-2 Mathematica による計算

仮説 1, 2 について前節の式

$$x = \frac{-4\sqrt{(4-a)^2+8^2}+4\sqrt{(a+4)^2+8^2}+8a}{8+\sqrt{(a+4)^2+8^2}+\sqrt{(4-a)^2+8^2}}$$

$$y = \frac{64}{8+\sqrt{(a+4)^2+8^2}+\sqrt{(4-a)^2+8^2}}$$

から a を消去した結果

$$-64 + 16y + 4y^2 = x^2(y - 4)$$

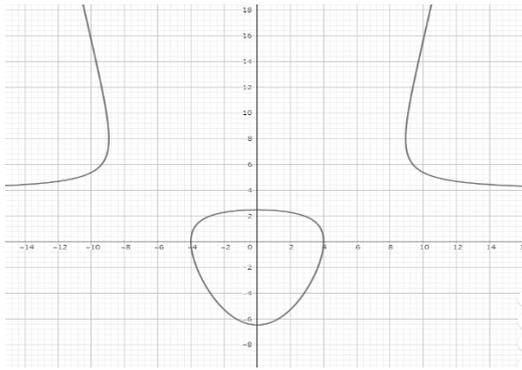
となった(これを①とする).

同様に, 一般の直線 $y=b$ 上を点 C が動くときは

$$-16b + 32y + by^2 = x^2(-b + 2y)$$

となった.

そこで①の方程式のグラフを実際に描いてみると図IVとなり, 図 II と図 III をあわせたグラフとなった. これより内心と傍心の軌跡の方程式が同じ方程式で表すことができるとわかった.

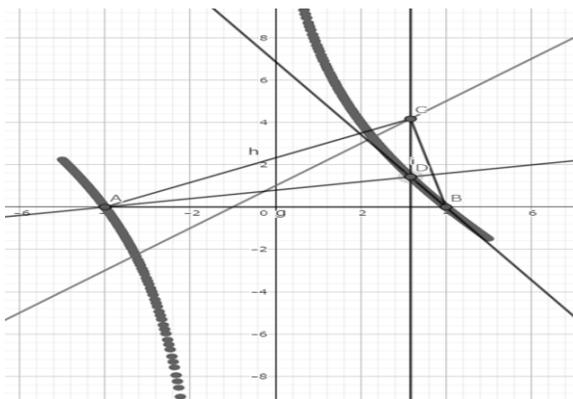


図IV 方程式①のグラフ

この結果より仮説 1 が正しいことがわかったが、仮説 2 について重心との関係を見ることができなかった。

仮説 3 について、重心は動かした直線と平行の直線な軌跡を描くため、この仮説が成り立たないことがわかった。

また垂心について、点 C を直線 $y = x + 1$ 上で動かしたところ y 切片を漸近線とする双曲線(図 V)を描くことがわかった。また、他の直線でも同様であった。



図V 点 C が直線 $y = x + 1$ 上を動くときの垂心の軌跡

4. 考察

重心や垂心の場合、線分 AB の中点 M との距離 CM が最小になる点 C の位置と、重心や垂

心の y 座標の最大値または最小値を与える点 C の位置には関係がないことがわかった。

重心は動かす直線と平行な直線の軌跡、垂心は切片を漸近線とする双曲線の軌跡を描いた。このことから他の五心においても、それぞれの点に特有の軌跡があらわれると推測される。

5. まとめと今後の課題

仮説 2 では内心、傍心、重心になにか関係がみられるのではないかと推測され、図IVでは内心と傍心には関係がみられたが、重心の軌跡については図IVから読み取れないため、研究とはまた別の方法で軌跡の関係を調べる必要があると考えられる。

垂心は三角形 ABC が鋭角三角形か鈍角三角形によって、三角形の内部に存在するか外部に存在するかが変わるので、それぞれの場合にわけて調べたい。

重心と垂心の場合に仮説 3 が成り立たないことはわかったが、内心や傍心では仮説 3 が成り立つかどうかはわかっていないので調べたい。

また、点 C を様々な直線上で動かした場合について垂心と重心しか調べられていないので、これを五心すべての点で調べること、また点 C を直線だけでなく円上や二次関数上で動かしたときにどのような軌跡を描くのかについても調べたい。

6. 参考文献

大西俊弘, 四ツ谷昌二, 山岸義和, 三角形の内心と傍心の軌跡について軌跡の方程式の導出方法と軌跡の存在領域. 数理解析研究所講究録, 第 2022 巻 2017 年 170-176.

令和元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2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