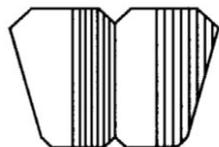


平成 29 年度指定 スーパーサイエンスハイスクール

平成 30 年度

研究活動報告集

第 2 年次



平成 31 年 3 月

京都府立洛北高等学校

は じ め に

京都府立洛北高等学校
校長 山本 康一

平成 30 年度スーパーサイエンスハイスクール (SSH) の事業における、生徒課題研究の成果として「研究活動報告集」を上梓いたします。熱心に取り組んだ生徒諸君の努力に対して敬意を表するとともに、サイエンスⅡやサイエンス研究の活動に御協力・御指導いただいた京都大学の各研究科・研究所・博物館、京都工芸繊維大学、京都府立大学、総合地球環境学研究所の先生方、T Aの皆様、文部科学省、科学技術振興機構、SSH 運営指導委員会、京都府教育委員会に厚く御礼申し上げます。

本校のスーパーサイエンスハイスクール (SSH) の事業も、附属中学校の開校とともに始まり今年で 15 年目を迎えました。昨年度より第 4 期の指定を受け、「次世代の科学技術分野を牽引する人材を育成する中高一貫教育プログラムの研究開発」をテーマに、課題研究をはじめとする取組をリニューアルしました。中学 3 年および高校 1 年次のサイエンスⅠで、課題発見の視点育成や研究計画立案、仮説設定の方法を学び、高校 2 年次のサイエンスⅡでは、化学・物理地学・生物・環境・数学の中で設定した研究テーマについて課題研究を進めてきました。いずれも生徒自身の疑問に基づいた課題研究であり、思った結果が得られなかった研究グループも「なぜそうなったのか？」という原因をしっかりと考察し、改善策や仮説の再検証を行う様子が見受けられました。また、研究の中間成果を大学・研究機関の先生方、大学院生の前で発表する「アドバンス・セミナー」や、他校の生徒や先生方と研究交流を行う「京都サイエンスフェスタ」でも積極的に討論を行い、自らの研究の成果を、熱意をもって主体的に発表をしていました。

また今年度は、サイエンスⅡ、サイエンス研究 (高校 3 年) とともに、様々な論文コンテストや学会の高校生ポスターセッション等に挑戦し、自らの研究内容を積極的に発表しようとする生徒が多く、SSH 生徒研究発表会「奨励賞」や筑波大学「科学の芽賞」、日本学生科学賞「読売賞」を受賞するなど、すばらしい成果をあげてくれました。自らが見つけた課題に対し主体的に取り組んだことが自信になって、外部へ発信したいという意欲を生み出しており、今後大学等での活動につながっていくことを期待しています。

研究の完成度としては様々なものがありますが、生徒の好奇心、課題を解決したいという意欲、努力の成果を感じていただき、ご指導・ご助言をいただけますと幸いです。

目次

サイエンス研究 (高校3年)

尿素を用いた八面体食塩の作製	1
	笹田翔太
スライドバーの素材の違いによる音色の変化	7
	土岐堯生

サイエンスⅡ (高校2年)

【化学】

ゲル同士の合成と緩衝材としての可能性	11
	片岡淳人・掃部想太・川口裕翔・吉井裕志
赤ちゃんが食べても大丈夫な石けんを作る！ ～ エステルを使用した安全な石けん ～	15
	沖波暁・甲斐舜也・塚本耀・松山大奎
トマトで美白大作戦！！ ～ リコピンでメラニンを阻害しよう ～	19
	金田紗奈・住岡美紀・谷脇由栞・福嶋恋奈
人工イクラからのナノ粒子放出 ～ 帯電による変化 ～	23
	伊勢美貴・田畔夏希・那須陽華・野田彩華
ポリフェノールで日焼けトメール ～ 植物が持つ紫外線防御効果・抗酸化作用の比較 ～	28
	伊藤瑠唯風・岸本天寧・鈴木理子・池珠利

【物理地学】

音による消火	36
	櫻田侑也・山崎孝太・山田幸海・吉田航
エッグドロップ実験を活用した保護構造の研究 ～ シェルターの構造と落下速度, 卵の割れ方の関係 ～	40
	加藤龍之介・三双清央・原田太一・吉川昂甫
ドップラー効果の逆 ～ Anti-Doppler Sound を用いたドップラー効果の相殺 ～	44
	尾崎遼太郎・後藤拓都・酒井翔大・白倉崇生
粘土の銀イオン吸着 ～ モンモリロナイトに対する金属イオン吸着率の測定 ～	50
	川島悠香・竹田真実子・西田涼乃・吉田依未
クロロフィルにおける蛍光条件の研究	54
	市川亮大・土橋拓馬・平尾早耶・村上凜

【生物】

ゼブラフィッシュから見える世界.....	59
飯田朋華・片岡礼・川口よしの	
環境にやさしい洗剤づくり ～ サポニンを多く含む植物を用いて ～	62
岩井温子・内田冴香・梅谷結佳・前田悠花	
刺身パックに秘められた工夫	67
桶谷剛汰・四方裕一朗・中江亮太・和谷悠矢	
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 ～	70
生形綾音・棕橋直陽・櫻井太翔・平田艶羽	
未知なるトビケラシルクの性質に迫る	74
島田望未・土屋恵里・堀井彩名・松崎日南	
藻類を用いた省エネかつ効率的な緑のカーテンの実現に向けて	79
井上颯・大木萌花・小笠原彩花	

【環境】

オオクチバスにおける鱗の形態と生息環境の関係	84
富松由衣・丸田滯音・山田耀裕	
アンケート調査からみる高校生の Instagram 利用	90
畑中優月・光永莉菜	
いけずが人間関係を円滑にする！？ ～ 文献調査とインタビューによる検証 ～	95
内田 宗葉・山川詩織・余川恵里	
大阪城周辺の観光促進に向けて ～ 外国人観光客とボランティアガイドを対象とした調査から探る ～	99
小山穂乃香・山本真理奈	

【数学】

放物線を球に写した時の形	103
山地歆菜	
XとYを等価値に扱う近似直線	107
保家大将	
出る目の確率が同様に確からしい7面ダイスの作成	111
大杉祐斗・中井朝紀・藤原優香	

尿素を用いた八面体食塩の作製

笹田翔太

要旨

本研究では、媒晶剤が食塩の結晶面にどのような作用をもたらすかを、媒晶剤を尿素としてその濃度を段階的に変え、食塩結晶の大きさと外形の観察から調べた。その結果から、媒晶剤の面への吸着によってNa⁺の新たな吸着が困難になり、また媒晶剤の配列が新たな面をつくることによって本来現れる面の成長を阻害し新たな面を生じさせると考えられた。また、媒晶作用によって八面体になった食塩は結晶どうしの触れあう面積が小さく、固まりにくいと考えた。

1. はじめに

媒晶剤とは、純粋な水溶液に不純物として加えることで、基本的には結晶格子の変化なしにもの溶質の結晶の外形を変化させるものである。例えば、食塩水に媒晶剤としてホルムアミドを加えると、{100}面をもつ一般的な正六面体様結晶ではなく{111}面をもつ正八面体様の結晶が得られることが知られている(新藤ら, 2008)。また、食塩は等軸晶系であるため、他の媒晶剤を用いれば{110}面をもつ菱形十二面体などが得られる。

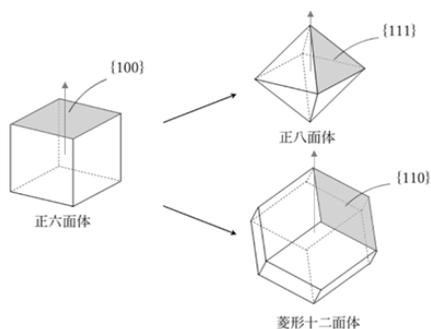
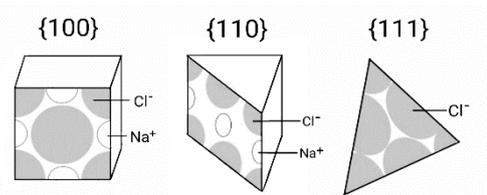


図1 ミラー指数と結晶の外形

ここで図1にある{}内の数はミラー指数と呼ばれる結晶面を表す記号であり、矢印をc軸とする。結晶格子を各指数面で切ると図2のようになる。



(塩化物イオンが角に来るよう切断面をずらしている。それぞれのイオン半径は正しくない。)

図2 各指数面での結晶格子の断面

媒晶剤はインターネット上では結晶の形を変えるものとして散見されるが、媒晶剤の定義は曖昧で、媒晶剤の作用原理についての研究も少ない。

新藤らは食塩においてホルムアミドが媒晶剤として特定の面に吸着してその面を保護するとしているが、疑問が残った。これに対して山田(1971)は、媒晶剤は成長している結晶の特定の面へ選択的に吸着し、その面の表面エネルギーを変化させたり、その面の特定の位置を封鎖して物質移動を抑制したりすると述べている。そこで食塩における媒晶剤の作用とその機構に興味を持ち、本研究を行った。

したがって、本研究の目的は、媒晶剤の種類・濃度を変え、食塩の結晶を作成することで、媒晶

剤が結晶の外形の変化を引き起こすメカニズムを探ることである。

2. 研究方法

本研究では、実験1、実験2、実験3、実験4を行い、実験1では尿素濃度を細かく変化させた場合の、食塩結晶の外形、大きさの関係を調べた。実験1で観察を妨げた尿素結晶の析出を防ぐことと、より正確な実験のために、実験2では毎週一度食塩水をシャーレに加え、尿素濃度を一定に保ちながらの観察を行った。実験3では結晶中に含まれる尿素量を測定した。実験4では媒晶剤による作用の違いを調べた。本研究では、食塩、尿素、塩化マンガンは一級のものを用いた。グリシンは試料が古く級が不明であった。

2-1. 実験 1

シャーレ6枚に6mol/L食塩水50mLと濃度が5mol/L、6mol/L、7mol/L、8mol/L、9mol/L、10mol/Lとなる量の尿素を加え、蓋をせずにガーゼを張ったバットに入れて風通しの良い場所で乾燥させた。また、対照実験として純粋な飽和食塩水を乾燥させた。乾燥までは3ヶ月を要した。乾燥後、結晶の大きさについてはシャーレの写真から結晶の対角線の長さを測り、外形については判別できるものを肉眼で観察した。

2-2. 実験 2

シャーレ6枚に6mol/L食塩水50mLと濃度が5mol/L、6mol/L、7mol/L、8mol/L、9mol/L、10mol/Lとなる量の尿素を加え、蓋をせずにガーゼを張ったバットに入れて風通しの良い場所で乾燥させた。乾燥中、毎週一度6mol/L食塩水を10mL加え、水溶液の濃度を一定に近づけた。乾燥までは5ヶ月を要した。観察の際にはシャーレに飽和食塩水を加え、尿素を溶解させて結晶を取り出した。また計測の簡略のためにシャーレの1/8を区画として区画内の結晶について結晶ごとの最大の大きさと外形を調べた。

2-3. 実験 3

6mol/L食塩、5mol/L尿素の混合水溶液50mLをシャーレに加えて水がすべて蒸発することのないように1週間だけ乾燥させた試料A、1週間乾燥させた6mol/L食塩水から残った溶液を取り出し、6mol/L食塩、5mol/L尿素の混合水溶液を加えて1週間乾燥させた試料Bをつくった。この試料については乾燥1週間後、2週間後について、写真による結晶の大きさを測定した。できた結晶は取り出してろ紙で水気を拭き取ったのち、飽和食塩水で洗って表面の尿素を取り除いた。結晶は電子てんびんで質量を量った。試料Aには純水を加えて飽和、飽和の10倍の食塩水をつくった。試料Bは飽和の10倍に希釈した。次に、溶液とイオン交換樹脂を入れた遠沈管またはマイクロチューブをつくった。これを5分間振り混ぜ、3000rpmで1分間遠心分離し溶液中のイオンを取り除いた。試料を試験管にウレアーゼとともに加えて15分静置して試料中の尿素をアンモニアにしてウレアーゼ処理の試料とし、10倍A、飽和A、10倍Bのウレアーゼ処理ありと10倍Aの遠沈管内のウレアーゼ処理なしとについてアンモニアパックテスト(共立化学研究所WAK-NH4)を用いてアンモニアの濃度を測定した。

2-4. 実験 4

サンプル管10本に飽和食塩水として6mol/L食塩水50mLと濃度が2mol/L、5mol/L、10mol/Lとなる量の尿素、1mol/L、2mol/L、3mol/Lとなる量のグリシン、1mol/L、3mol/L、5mol/Lとなる量の塩化マンガンを加え、蓋をせずにガーゼを張ったバットに入れて風通しの良い場所で乾燥させた。対照実験として純粋な飽和食塩水を乾燥させた。乾燥までは1ヶ月を要した。乾燥後、双眼実体顕微鏡で観察し、外形の特徴を調べた。

3. 結果

3-1. 実験1・2

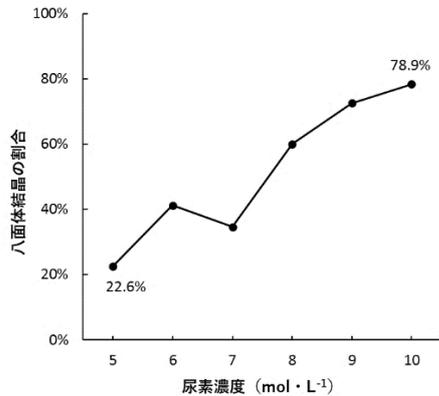


図3 濃度による結晶の外形の変化

食塩結晶の外形について、実験1では図3に示したように、尿素有濃度が高いほど{111}面が多く現れた。実験2では{111}面のみが形成された。

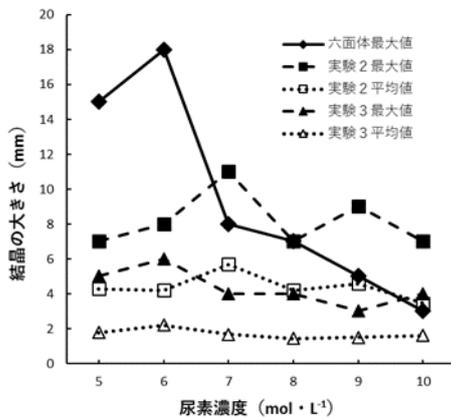


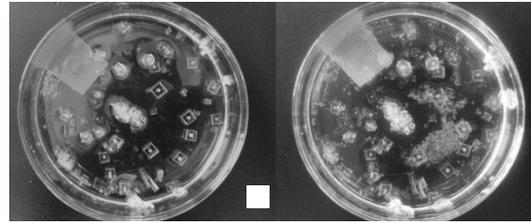
図4 各濃度での結晶の最大値と平均値

食塩結晶の大きさについて、図4に示したように、{100}面をもつ結晶は尿素有濃度が高いほど小さかったのに対して、{111}面をもつ結晶は濃度によらず小さかった。実験2の最大値からは尿素有濃度が6mol/Lのとき大きな結晶が増えているように見えるが、平均値は他との差は大きくないことから、{111}面をもつ結晶の大きさの変化は無視してよい。

3-2. 実験3

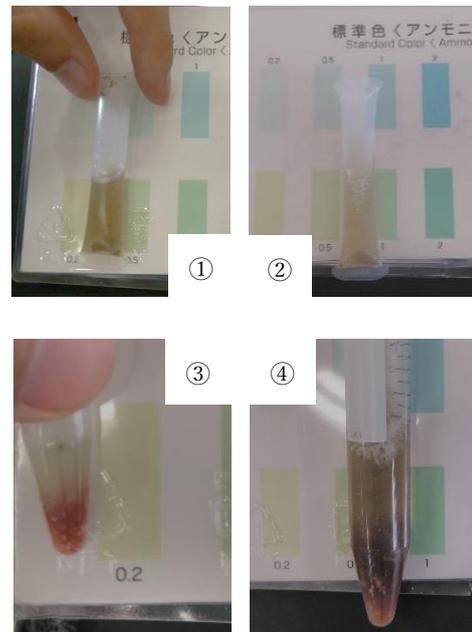
試料Aでは{111}面のみが形成され、大きさは1

～4mm程度であった。試料Bの食塩は、1週間後2週間後で結晶の大きさは5mm程度でほぼ変わらず(図5)、六面体の頂点にあたる部分に{111}面ができていた。また新たに{111}面のみをもつ結晶もできていた。



(左が乾燥1週間後、右が2週間後。図中の正方形は1cm×1cm)

図5 試料Bの結晶の変化



(①は処理なし、②は処理ありの10倍A、③は飽和A、④は10倍B)

図6 パッケージの様子

10倍Aウレアーゼ処理ありの試料について、溶液は黒ずんでいたが、比色表との比較でNH₄⁺濃度が0.5mg/Lで、結晶中に尿素は物質質量比で1.6×10ppm含まれていたことがわかった。以降同様に計算した。

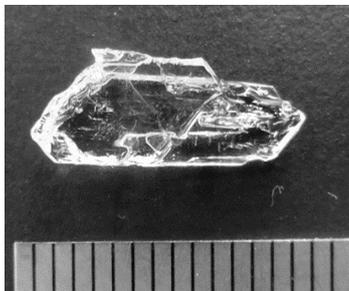
飽和Aの試料は、NH₄⁺濃度が0.2mg/Lで、結晶中の尿素は物質質量比で1.0ppmであった。

10倍Bの試料は、 NH_4^+ 濃度が1.0mg/Lで、結晶中の尿素は物質質量比で $4.5 \times 10\text{ppm}$ であった。

ウレアーゼ処理なしとした試料について、 NH_4^+ は検出されなかった。

3-3. 実験4

尿素について、濃度が2mol/Lのとき{100}面、濃度が5mol/Lのとき{111}面が形成された。{111}面をもつ結晶の結晶軸は底面に垂直であった。濃度が10mol/Lのとき、先のとがった柱状の結晶が形成され(図7)、他に結晶は観察されなかった。

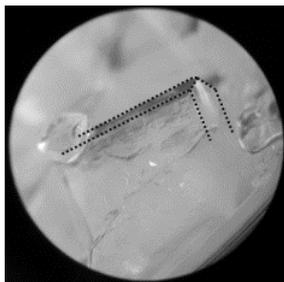


(目盛りは1mm)

図7 得られた尿素の柱状結晶

しかし、この結晶をバーナーで熱したところ融解したため、この柱状結晶は融点が $132\sim 135^\circ\text{C}$ の尿素であることがわかった。

グリシンについて、濃度が1mol/Lのとき、他の場合では結晶の大きさが1mm程度であったのに対して、この場合では6~7mmと比較的大きな結晶が3つみられた。外形について、{100}面と{110}面をもつ結晶(六面体の各辺に{110}面をもつ結晶)(図8)が形成された。



($\times 40$, 点線は結晶の稜線を示す)

図8 グリシン1mol/Lで得られた結晶

濃度が2mol/Lのとき、{111}面や{110}面が形成された。濃度が3mol/Lのとき、{110}面が形成された。

塩化マンガンについて、濃度によらずCl⁻の共通イオン効果により底に食塩結晶が沈殿した。このとき食塩結晶が微細であったために結晶面の観察は行えなかった。

媒晶剤なしのときについて、すべて{100}面であった。サンプル管の底面には立方体、壁面には直方体様の柱状結晶が見られた。これらはどちらも食塩であった。

表1 各媒晶剤の作用

媒晶剤	ミラー指数		
	低濃度	中濃度	高濃度
Urea	{100}	{111}	Urea
Gly	{100}/{110}	{111}/{110}	{110}
MnCl ₂	NaCl		

食塩結晶が見られた場合ミラー指数を、その他は析出した物質名を示す。

4. 考察

4-1. 媒晶剤の作用について

実験1では、尿素の濃度が高くなるほど{111}面の割合が大きくなることから、媒晶剤は濃度が高いほど作用が大きいと考えられる。また、結晶の外形と大きさの関係からは、{100}面が媒晶作用を受けて小さくなっているのに対して、{111}面は濃度による大きさの変化が少ないことから、媒晶作用を受けていないことがわかる。また実験3では尿素を加えると{100}面の成長が止まっている。これらのことから、尿素は{100}面の成長を阻害することで{111}面を形成していると考えられる。

ここで、実験3で{111}面が新たに形成されるとき尿素が多く検出されたことは、{100}面への尿素の吸着を示唆している。よって{111}面は{100}面への尿素の吸着によりその面の成長速度が遅くなってできたものであると考えた。{111}面をもつ結晶に含まれる尿素の量が非常に小さかったの

は結晶の成長過程において{100}面ができないためであると考えられる。

吸着のメカニズムについて、{100}面への尿素的吸着によりその面の成長速度が遅くなってできたものであると考えた。榎尾ら(2018)によれば尿素分子とCl⁻の大きさはほとんど同じなので、尿素的酸素原子がもつ非共有電子対または負電荷がCl⁻の代わりにNa⁺に吸着し、新たなNa⁺の吸着を阻害することが考えられる。

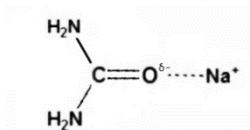


図9 尿素錯体と尿素分子の結晶への吸着

等軸晶系結晶各面(食塩が作りうる面)の安定度は{100}面、{110}面、{111}面の順に高いため、{100}面が形成されなくなると{110}面、{111}面が形成されると考えられる。よって{111}面を形成するためには{100}面に加えて{110}面への尿素的吸着が必要であると予想される。しかしこの吸着メカニズムは両方の面への吸着を説明できる。図10に{100}面と{110}面への尿素的吸着を示す。

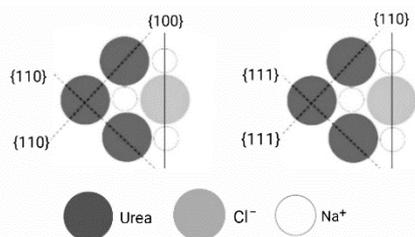


図10 {100}, {110}面への尿素的吸着

{100}, {110}面上に新たな面ができたがこれらはそれぞれ{110}, {111}面である。{100}面に作用してできた{110}面はさらに媒晶作用によって{111}面を形成することが考えられる。

4-2. {111}面に媒晶剤は吸着するか

新藤らは、ホルムアミドなどがもつO^{δ-}は{111}面に吸着しNa⁺が並び電氣的に非常に不安定になっている{111}面を保護していると説明してい

る。

しかし、実験2, 3においては尿素的濃度が変化しても結晶の大きさが変わらない。このことは{111}面の保護または結晶成長の遅れがないこと、すなわち{111}面に尿素的が吸着していないことを示している。

また、{111}面に尿素的が吸着しないことと、媒晶作用を受けた食塩結晶で{100}面が形成されないことから、食塩結晶のうち核にあたる部分以外には尿素的がほとんど含まれないことが予想される。尿素的が{111}面に吸着しない理由は、{111}面ではイオンが層状に並ぶために尿素的のような電荷の小さな物質より陰イオンのほうがより速く吸着するからだと考えられる。

実験2において乾燥期間が長いにもかかわらず結晶の大きさが小さかったのは、実験2において食塩結晶の表面を尿素的が覆っていて小さな結晶を見つけることができなかったためだと考えられる。

4-3. 媒晶剤ごとの作用の違いについて

実験4から、尿素的は{111}面を、グリシンは{110}面を安定化することが分かった。また、Radenovicらによれば、ホルムアミドは{111}面を安定化する。

ここで、各物質の構造を考察すると、ホルムアミドと尿素的に比べてグリシンは分子がメチレン基一つ分大きい、カルボニル基やアミノ基をもつ点で類似している(図11)。

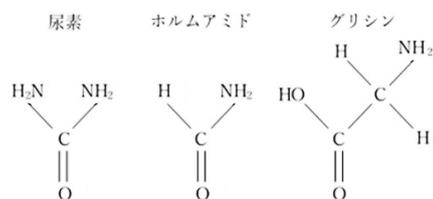


図11 各媒晶剤の構造式

これらのことから、尿素的、ホルムアミドは {100}面、{110}面の成長を阻害することができるが、グリシンはその分子の大きさゆえ{110}面上にうまく吸

着できなかったと考えられる。{100}面と{110}面ではイオン間距離は同じで、イオンの配列だけが異なる(図2)。{110}面に吸着するとき、媒晶剤は結晶軸に平行に一行に並ばなければならないが、分子が大きいとそれが難しく、成長速度を十分に低下させられなかったことが考えられる。分子の小ささによる吸着のしやすさについては新藤らも示唆している。

5. まとめと今後の課題

媒晶剤は濃度が高いほど結晶の本来の成長を阻害する作用が大きく、新たな面の成長を促す。例えば、媒晶剤が尿素のとき、その濃度が高いほど{111}面の割合が増加し、大きさが小さくなる。またこのとき媒晶剤は結晶面上に吸着し、イオンの吸着を阻害することによって作用を示す。また、本来の結晶面に吸着するときの吸着の安定度、すなわち媒晶作用の強さは、少なくとも分子の大きさに左右されると考えられる。

今後の展望として、媒晶作用によって八面体になった食塩は固まりにくい食塩としての利用が考えられる。食塩は湿気によって溶解し、隣の結晶とつながることで固まる、これに対して食塩結晶のコーティングや吸湿性をもつ物質の添加などの対策がなされている。今回作製した八面体結晶もその形状のために隙間なく積み重ねられないので、結晶どうしの触れ合う面積が小さくなって架橋が弱まったり、できた隙間によって固まっても容易に割れるようになったりすることが考えられる。さらに添加物を加えた場合と異なり99.998wt%という高純度になるので、食品用のほか実験用としての使用も考えられる。

6. 謝辞

昨年度共同研究者として手伝ってくれた同級生の福井創君、授業中指導して下さった本校の井上藍先生、助言をいただいた京都大学総合博物館の白勢洋平助教授の皆さんにお世話になりました。ありがとうございました。

7. 引用文献

新藤斎, 小瀬多門, 松川崇志, 玉木敦, 甲田啓, 櫻木喬規, 2006, 食塩結晶の形態制御の原子機構, 第18回助成研究発表会要旨集

山田保, 1971, 媒晶剤, 化学工学, 35, 9, 22

槇尾瞳, 加藤大地, 加藤萌喜, 北嶋直樹, 2018, 八面体食塩～生成の条件と機構について～, 平成30年度SSH生徒研究発表会要旨集, 154

Neda Radenovic, Daniel Kaminski, willem van Enckevort, Sander Graswinckel, Ismail shah, Mendel in't Veld, Rienk Algra, Elias vlieg, 2006, Stability of the popular {111} NaCl Crystal face, THE JOURNAL OF CHEMICAL PHYSICS 124

スライドバーの素材の違いによる音色の変化

土岐 孝生

要旨

ギター演奏法の一つであるボトルネック奏法に使う、スライドバーの素材を変えるとギターの音色が変わる。本稿では、音色が変わる原理を解明することを目的とした。スライドバーを使わずに弾いた音、ガラス、アクリルのスライドバーを使い弾いた音の周波数特性、エンベロープを比較した。その結果、周波数特性、エンベロープはスライドバーの有無、素材により異なることが分かった。また、スライドバーを使わず指で押さえた時、減衰が小さいことが分かった。

1. 緒言

ギター演奏法に、弦を指で押さえ音程をとるのではなく、スライドバーと呼ばれる筒を指にはめ、弦の上を滑らせるボトルネック奏法と呼ばれるものがある。指で押さえるとき弦の固定位置はギターのフレットに(図 1.a)、スライドバーで押さえるときはスライドバーになっている(図 1.b)。この奏法ではスライドバーの素材により、音色が変わることが経験的に知られている。本研究では、周波数特性、波形のエンベロープ比較し、音色の違いを調べ、音色の違いを生む原理を明らかにすることを目的とする。

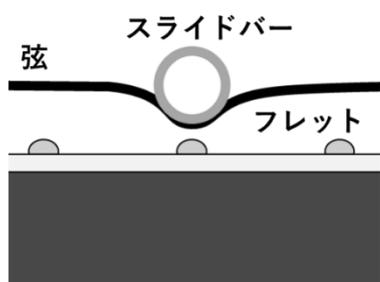


図 1.a スライドバーでの弦固定

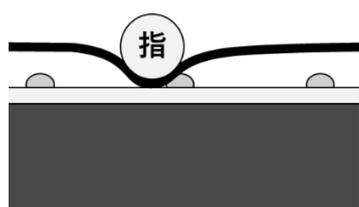


図 1.b 指での弦固定

2. 実験

本研究では、スライドバーを使ったときとスライドバーを使わず指で押さえたときのギターの音を録音し、そのデータの周波数特性、波形のエンベロープを比較した。

2-1. 実験装置

実験に用いたものを表 1 に示す。

表 1 実験に用いたもの

アコースティックギター (Stafford&Co SE500)
アコースティックギター弦 1 弦 (D'Addario Phosphor Bronze Wound EJ15 0.010)
スマートフォン (富士通 arrows M03)
スライドバー 試験管 (以下ガラスと記載)
スライドバー アクリルパイプ (以下アクリルと記載)

2-2. 実験方法

スライドバーを弦にあて、チューナーを用いて正しい音程をとった。次に弦を弾き、スマートフォ

ンで音を録音した。音は減衰し、十分聞こえなくなるまで録音した。録音する音は1弦の1~12フレットの音の高さとした。

スライドバーは、スタンドなどを用いて固定すると、ノイズが生じやすく実験が困難であったため、手で押さえ固定した。このときスライドバーを弦に押し付ける力が弱いとノイズが生じ、力が強く、フレットが弦の固定位置となると、指で押さえるのと変わらない。ノイズが生じず、スライドバーが弦の固定位置となる力で押さえた。

弦の弾き方、弾く位置によって音色が変わるので、サウンドホールの中心付近(図2)で、指の腹で水平に弾くよう統一した。



図 2 サウンドホール

2-2-1. 周波数特性

弦をはじいた直後から 0~93 (ms)の音をフーリエ変換し、周波数特性を調べた。

フーリエ変換し得られたデータの、基本振動の音の大きさ(Pa)を100とし、2倍振動、3倍振動の音の大きさを比較した。解析には、音声解析ソフト“WaveSpectra”を用いた。

2-2-2. エンベロープ

波形の振幅の時間変化(エンベロープ)を調べた。録音した wav ファイルを csv ファイルに変換し、表計算ソフト Excel を用いてグラフを作成した。サンプリング周波数は 44100(Hz)とした。また、得られたデータは最大の音量(Pa)を 100 として正規化を行った。

3. 結果

3-1. 周波数特性

アクリルの結果を図 3.a, ガラスの結果を図 3.b, スライドバーを使わず指で押さえた結果を図 3.c に示す。横軸は音の高さ(フレット)で、縦軸は基本振動の大きさを 100 とした音の大きさの比である。各倍音の大きさの比は音の高さに依存しないと予想したが、音の高さにより異なった。また、スライドバーの有無、素材の違いでも各倍音の大きさの比は異なった。

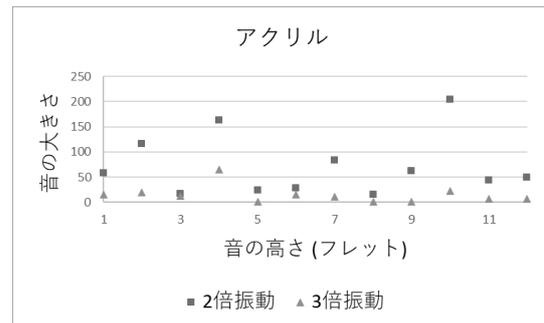


図 3.a アクリル 倍音の大きさ

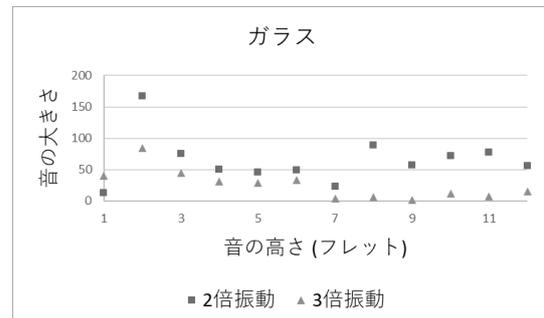


図 3.b ガラス 倍音の大きさ

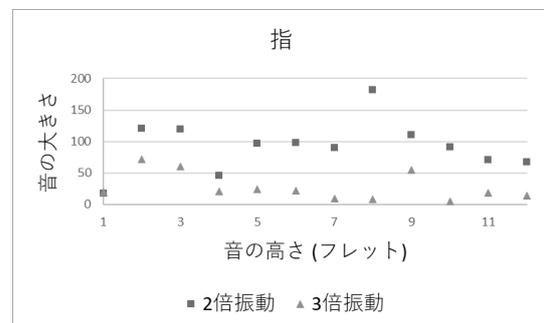


図 3.c 指 倍音の大きさ

3-2. エンベロープ

得られた結果のうちの一つを図 4.a に示す。横軸は時間(s), 縦軸は振幅となっている。

エンベロープは音の高さに依存しないと予想したが、音の高さにより概形が異なった。また、スライドバーの有無、素材の違いにより概形が異なった。

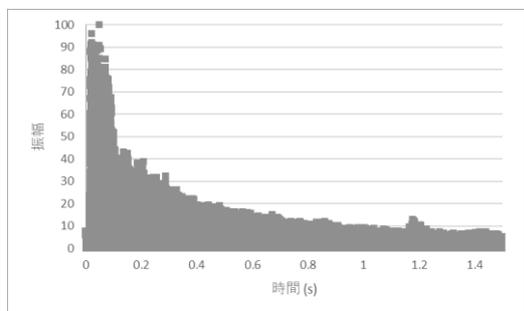


図 4.a エンベロープ

アクリルのスライドバーを用いた時、1~12 フレットのデータ 12 個のうち 4 つのデータに、弾いた直後 2 回振幅が大きくなる波形が見られた(図 4.b)。この波形は他の素材では見られなかった。

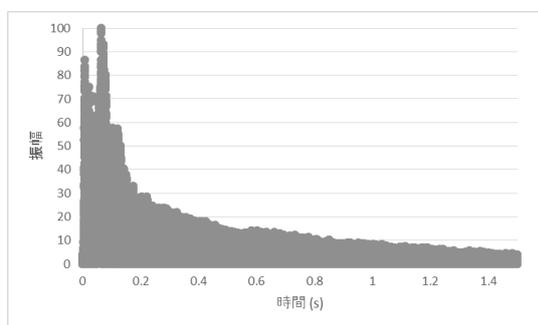


図 4.b アクリル エンベロープ

次に ADSR エンベロープを比較した。楽器の音は、弾いた直後大きな音量に急激に変化し(attack), 大きな音になったら減衰し(decay), その後長く維持(sustain)した後、再び減衰する(release)という 4 つの段階を経た構造として大雑把に分類され、この変位を 4 つの直線で近似したものが ADSR エンベロープである。図 5 は図 4.a を ADSR エンベロープ近似したものである。decay, sustain それぞれの段階の開始から終了までの時間を図 6.a, 図 6.b にまとめた。図 6.a, 図 6.b の横軸は音の高さ(フレット), 縦軸は時間

(s)となっている。また、表 1 にアクリル, ガラス, スライドバーを使わず指で押さえたときの decay, sustain の平均時間(s)を示す。attack は時間がほぼ 0 に近く、また release は時間が長く、データがとりきれていなかったため decay, sustain のみを比較した。また、直線での近似、時間の読みとりは目視で行った。

表 2 より、decay の段階の時間の平均, sustain の段階の時間の平均は、スライドバーを使うより使わないほうが長かった。

図 6.b より、指で押さえたとき、5, 11 フレットで decay の段階の時間が大きくなっている。図 6.a より、指で押さえたとき、5, 11 フレットで sustain にはほとんど変化が見られなかった。また、図 3.c より 5, 11 フレットで周波数特性にはほとんど変化が見られなかった。

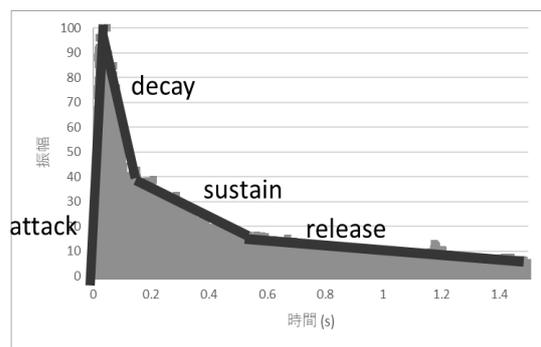


図 5 ADSR エンベロープ

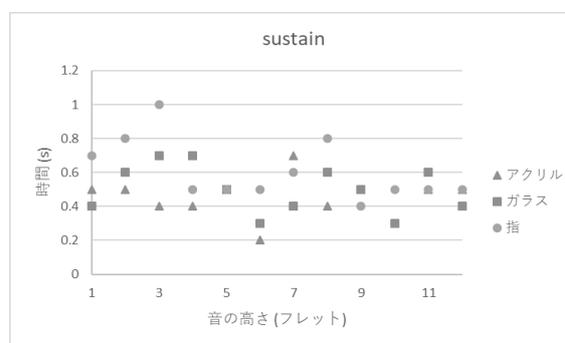


図 6.a sustain 時間

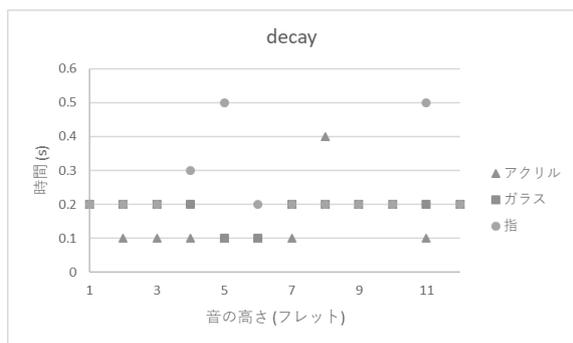


図 6.b decay 時間

表 2 decay, sustain 平均時間

	Decay 平均時間(s)	Sustain 平均時間(s)
アクリル	0.16	0.45
ガラス	0.18	0.50
指	0.26	0.61

4. 考察

周波数特性が音の高さにより変わるのは、弦を弾く位置が相対的に変わっているためだと考えられる。本稿の実験では、弦を弾く位置はサウンドホールを中心付近で統一されており、高フレットになればなるほど、弾く位置が基本振動の節の位置から腹の位置にずれる。また、同じ音の高さであっても、スライドバーの有無や素材で周波数特性が変わるのは、弦の固定の程度、減衰の程度などの固定条件が異なるためであると考えられる。

指で押さえたとき、5, 11 フレットで decay の段階の時間が大きくなっているが周波数特性や sustain にはほとんど変化が見られなかったことより周波数特性は decay の段階の時間に依存しないと考えられる。一方、指、ガラスで押さえた時、音の高さに対する sustain の段階の時間は音の高さに対する倍音の増減と増減の位置が一致する。また、アクリルは増減が一致しないが、周期的に振動するという点では共通点があるため、倍音の大きさと sustain の段階の時間には関係がある

と考えられる。

指で押さえた時のほうがスライドバーを使ったときより decay, sustain の段階が長く減衰が小さいため、音に伸びがあると考えられる。

5. 結言

周波数特性、エンベロープは音の高さ、スライドバーの有無、素材により異なることが分かった。周波数特性が音の高さにより異なるのは相対的に弾く位置が変わるためであると考えられる。倍音の大きさと sustain の段階の時間には関係があると考えられる。スライドバーを使わず指で押さえた時、sustain, decay の段階の時間が長く減衰が小さいことが分かった。

6. 参考文献

伊藤克亘, 花泉弘, 小泉悠馬, 2018, python で学ぶ実践画像・音声処理入門, コロナ社, 142-144

ゲル同士の合成と緩衝材としての可能性

片岡淳人 掃部想太 川口裕翔 吉井裕志

要旨

本研究では、AMPS と呼ばれる高分子のモノマーに架橋剤と重合開始剤を加えて重合し、ゲルを作成し、さらにそのゲルにもう一つのゲルを加えて二種類の架橋を持つダブルネットワークゲル(DN ゲル)と呼ばれる物質を作成した。このゲルを分析したところ、スライムと呼ばれるような流体のゲルよりも高い衝撃吸収性を持ち、かつ柔軟性も持ち、緩衝材として利用できる可能性があることが分かった。

1. はじめに

ゲルとはコロイド粒子が架橋することによって流動性を失い固体と液体の両方の性質を持った物質のことであり、内部に水を含むことが可能なため、完全な固体とはならず、液体に似た柔軟性を持った物質となる(『ゲルについて、青山学院大学理工学部物理・数理学科』)。ホウ砂、水のりを用いたゲルがその典型である。『ダブルネットワークゲルの合成と評価、森安勝』によると AMPS のモノマー(図 1)に架橋剤(MBAA)(図 2)と重合開始剤(オキシグルタル酸)を加え、紫外線を当てると一つの架橋を持ったシングルネットワークゲル(SN ゲル)①が作成され、さらに、モノマーである AMPS, AA(図 3), AAm(図 4)に架橋剤(MBAA), 重合開始剤(オキシグルタル酸)を加えた溶液を①に加え、紫外線を照射すると二つの架橋を持った DN ゲルが合成されることが分かっている。本研究では二つの架橋を持つ DN ゲルが一つの架橋を持ったゲルよりも高い衝撃吸収性を持つと仮説を立て、DN ゲルが合成される溶液の濃度・温度・紫外線照射時間といった条件を研究し、ホウ砂・水のりを用いたゲルよりも衝撃吸収性に優れることを耐圧実験・落下実験において検証し、緩衝材としての可能性を考察した。

2. SN ゲルについての材料・研究方法

2-1. 研究試料

モノマーとして 2mol/L の 2-アクリルアミド-2-メチルプロパンスルホン酸(AMPS), 架橋剤として 0.2mol/L のメチレンビスアクリルアミド(MBAA), 重合を促進させる重合開始剤として 0.1mol/L の α -ケトグルタル酸を用いた。

2-2. 研究方法

モノマーの AMPS の水溶液 12.5mL に架橋剤 MBAA の水溶液 10mL, 重合開始剤 α -ケトグルタル酸の水溶液 1mL, 純水を 25mL 加え混ぜ合わせて約 20°C において(図 5)の暗室に溶液を入れ、紫外線(250~370 [$\mu\text{m}/\text{cm}^2$])を六時間照射させた。その後、合成したゲルを 8mm 角の立方体裁断し、合成後一ヶ月たった SN ゲルと合成後すぐの SN ゲル、さらにホウ砂・水のりを用いたゲルについて高さを 10cm ずつ上げながら落下させ、崩壊するもしくは 1m まで続けた。

3. DN ゲルについての材料・研究方法

3-1. 研究試料

2. で合成した SN ゲル 25mL 分をそのまま取り出したもの(i), 残りの 25mL について細かく裁断したもの(ii), 2 種類目のモノマーとして 2mol/L の AMPS, AA, 電気泳動用に使用するアクリルアミド/ビスアクリルアミド混合液(アクリルアミド:ビスアクリルアミド=37.5:1)をそれぞれ 5mol/L, 架橋剤として 0.2mol/L の MBAA,

0.1mol/L の重合開始剤 α -ケトグルタル酸を用いた。

3-2. 研究方法

(i) AMPS, MBAA, AA, アクリルアミド/ビスアクリルアミド混合液, α -ケトグルタル酸をそれぞれ 12.5mL, 10mL, 10mL, 10mL, 1mL の水溶液とし, SN ゲル約 25mL をそのまま取り出したものに浸し, 2 日間膨潤させた。その後, 約 20°C において図 5 の暗室に溶液を入れ, 紫外線 (250~370 [$\mu\text{m}/\text{cm}^2$]) を 6 時間照射した。

(ii) AMPS, MBAA, AA, アクリルアミド/ビスアクリルアミド混合液, α -ケトグルタル酸をそれぞれ 12.5mL, 10mL, 10mL, 10mL, 1mL の水溶液とし, SN ゲル約 25mL を細かく裁断したものに浸し, 2 日間膨潤させた。その後, 約 20°C において図 5 の暗室に溶液を入れ, 紫外線 (250~370 [$\mu\text{m}/\text{cm}^2$]) を 6 時間照射した。

4. 結果

4-1. SN ゲルの結果

本研究では当初, AMPS を水溶液とした後, 1 日において使用していた。その結果, 紫外線を照射した後, 白濁した固体と, 上澄みの溶液に分かれていた (図 6)。その後, AMPS を水溶液にしてすぐに照射を開始したところ透明な物質ができ, 残っていた溶液は少量であった (図 7)。さらに約 10 °C にして紫外線を照射したところ, 12 時間後も全く固体とはなっていないかった。また, SN ゲルの評価実験について結果は下の表のようになった。

	10	20	30	40	50	60	70
古い	○	○	○	○	○	○	○
新しい	○	○	○	○	×	×	-

作製後 1 ヶ月経過した古いゲルは 1m の高さから落としても崩壊しなかったが, 作製後すぐの新しいゲルは 50cm の高さで 2 つに崩壊した。ただし,

作製後 1 ヶ月経過した古いゲルは, 粘性を持っていた。また, ホウ砂・水のりを用いたゲルについては 1m まで崩壊はしなかったが, 着地時に大きく変形した。

4-2. DN ゲルの結果

(i) ではもともと固体であった SN ゲルと新しく加えた溶液は完全に分離しており, 新しく加えた溶液の一部は液体のままであった。また, (ii) において 0.5~0.8cm 角に SN ゲルを裁断し, 合成したところ, SN ゲルの部分と新しく加えた溶液に偏りが見られた (図 8)。

そのため (ii) において SN ゲルを 0.2~0.3cm 角に SN ゲルを裁断したところ透明で分離の見られない固体となった (図 9)。

(ii) で合成した物質とホウ砂と水のりを用いたゲルについておもりを乗せた結果は下図の通りである。

おもり [kg]	0	0.5	1	1.5	2	2.5
高さ [cm]	3.5	1.8	0.9	0.6	0	0

- ・ホウ砂と水のりを用いたゲル
- ・(ii) で合成した物質

おもり [kg]	0	0.5	1	1.5	2	2.5
高さ [cm]	3	3	3	2.8	2.5	2.3

ホウ砂と水のりを用いたゲルについては 2.5kg の時点で 0cm となり, おもりを外した後も戻ることはなかった。(ii) で合成した物質については 5kg まで 1.5cm の高さを維持し (図 10), おもりを外した後に 2.6cm まで復元した。また, その後も力を加え続けたところ 8kg (1.646 [N/cm^2]) の重さにまで耐え, 9kg を超えたところで一部が崩壊した。

5. 考察

5-1. SN ゲルについての考察

当初 AMPS を 1 日おいて使用していたが、その際、AMPS のみで固体となっていたため、AMPS がそれのみでポリマーになってしまったと考えられる。そのため架橋が行われず、SN ゲルになったとは考えられない。その後モノマーのままの AMPS 水溶液を使用したところ、偏りが見られない透明なゲルになったため SN ゲルとして合成できたと考えられる。他にも合成の条件として温度が挙げられ、約 20℃ 以上でないと反応しないことも考えられる。

落下実験については作成後すぐの SN ゲルの方が崩壊しにくいのではないかと考えていたが、結果は逆であった。ホウ砂・水のりを用いたゲルは大きく変形したため、どちらの SN ゲルもより衝撃吸収性が高いと考えられるが、作成後 1 ヶ月後経過したゲルは架橋が弱くなってしまい、液体的な性質が強くなったことで変形はしても割れにくく、また新しいゲルは固体的な性質が優位で角ばっていたことから割れてしまったと考えられる。

5-2. DN ゲルについての考察

(i), (ii) の両方について分離してしまった理由は膨潤の期間が短く、元々の SN ゲルの中に第二のモノマー・架橋剤が混ざりきらなかったことが考えられる。SN ゲルを 0.2~0.3cm に細かく裁断したところ 2 日という膨潤期間においても第二のモノマーと架橋剤が混ざり、偏りが少ない DN ゲルが合成できたと考えられる。

ホウ砂と水のりを用いたゲルは 2.5kg の重さで完全につぶれてしまい戻らなかったが、DN ゲルは 5kg のおもりを乗せた後でも 2.6cm にまで復元し、DN ゲルの耐圧性は他のゲルに比べて高いと考えられる。さらに 9kg を超えても DN ゲル本体は形をとどめていたため、5kg 以上の重さにも耐えらるる。

6. まとめと今後の課題

DN ゲルは耐圧性において優位性が見られることが今回の実験において明らかになった。また

DN ゲルの合成条件においても約 20℃ 以上、250~370[$\mu\text{m}/\text{cm}^2$]の紫外線を 6 時間以上照射、SN ゲルを 0.2~0.3cm に裁断し、2 日間膨潤するという情報が得られた。この DN ゲルは物と物の間や落下する物体について衝撃を吸収する緩衝材としての活用が期待できる。

しかし、使用しているモノマー等が高価な上、人体に害を及ぼす可能性もあり、さらに刺激臭のある物質も利用しているため、より安価で危険性の少ない物質を使った DN ゲルを作成することが求められる。さらにゲルは長い期間がたつと架橋が緩くなってしまい上に水が蒸発してしまい本来の性質から変化してしまうことが考えられるため、保存性については今後検討する必要がある。

7. 参考文献

ダブルネットワーク (DN) ゲルの合成と評価,

<http://www.hst.titech.ac.jp/~meh/2010/DNgel.pdf>, 2018.11.1

ゲルについて,

<http://www.phys.aoyama.ac.jp/~w3-nishio/team/gel/index.html>, 2019.1.17

8. 添付資料

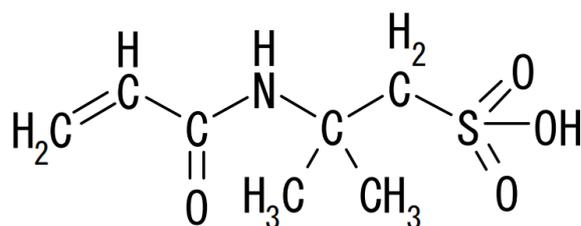


図 1 AMPS

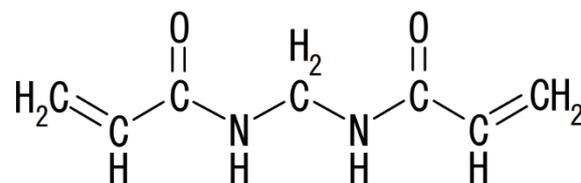


図 2 MBAA

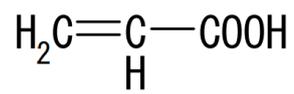


図 3 AA

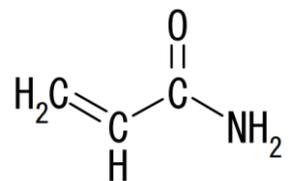


図 4 AAm

※図 1~4 は『ダブルネットワークゲルの合成と評価, 森安勝』より引用



図 5 暗室



図 6 AMPS のポリマー



図 7 SN ゲル

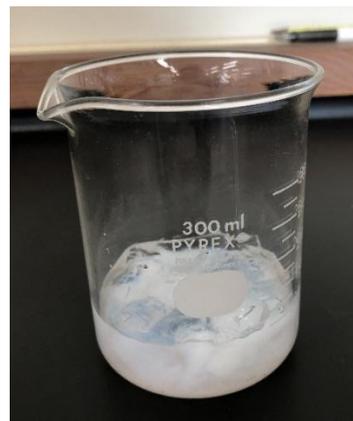


図 8 分離したゲル

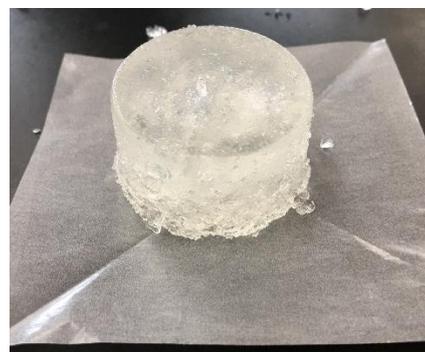


図 9 DN ゲル

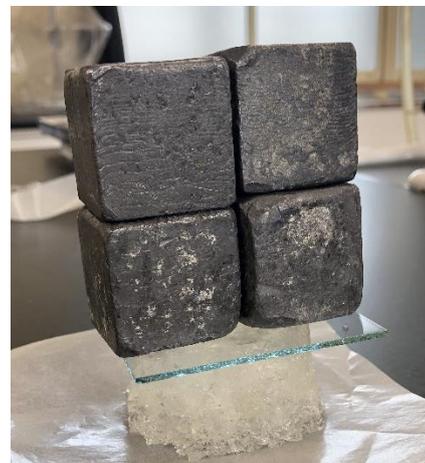


図 10 耐圧実験

赤ちゃんが食べても大丈夫な石けんを作る！

～エステルを使用した安全な石けん～

沖波暁 甲斐舜也 塚本耀 松山大奎

要旨

私たちは赤ちゃんが誤って食べても安全な石けんを作ることを試みた。一般的に市販されている石けんは塩基性のものであるが、体内に摂取してしまうと身体に悪影響が出てしまう。そのため、安全な石けんを作る第一歩として、中性塩の石けんを作ることを目標にした。

1. はじめに

赤ちゃんは石けんを誤飲してしまいやすいと考えた。しかし、赤ちゃんの身体は成人などよりかなり弱い。そこで私たちはもし仮に誤飲してしまったとしても身体に大きな影響のない石けんを作ることを目標にした。

そこで、市販されている石けんの pH を測定した。

以下がその結果である。

[I]キレイ キレイ pH6.7 画像右⁽¹⁾

[II]プウルス ソープ バイオレット pH8.2

[III]牛乳石けん pH8.3 画像下⁽²⁾



I の石けんは弱酸性石けんであり、
II, III の石けんは弱塩基性石けんであった。



そこで私たちはもし仮に誤飲してしまったとしても身体に大きな影響のない石けんを作ることを目標にした。実際に私たちが石けんを食べることは不可能なため、人間の身体の中で最も敏感な部分に触れても大丈夫であるような石けんを作ることに

決めた。そこで目は人間の体の中で、最も露出している箇所でもあり、最も敏感な箇所でもあると考えた。また、実際、市販の石けんの注意書きにもよく、目に石けんが入らないように気をつけるように書かれている。また、松井ほか(1994)によると、涙の pH は 7.3~7.7 であり、製作する石けんの pH を中性付近になるようにすれば安全ではないかと考えた。実験1において、実行した研究は一般的な、サラダ油から石けんを制作するため、実験2においてアミノ酸を使用した石けんを作り、中性石けんを作ろうと考えた。具体的には、酸の性質のあるカルボキシ基(-COOH)が2つついており、けん化した際に塩基の性質を和らげてくれるようなアミノ酸である、グルタミン酸を使用した。なお、この実験では天然系界面活性剤の主な構成成分の親水性原料として、グルタミン酸を用いて実験したが、グルタミン酸以外の物質も天然界

面活性剤を構成している。

2. 研究材料・研究方法

2-1 研究材料

実験1

〈準備物〉 サラダ油(オリーブオイルなどでも代用可能。常温で液体のものの方が作りやすい。)

エタノール, 水酸化ナトリウム 3.0mol/L, ビーカー 200mL, ガーゼ, ガラス棒, 大型試験管

実験2

〈準備物〉

グルタミン酸, 水, エタノール, 濃硫酸, ステアリン酸クロリド, 飽和食塩水, ビーカー 200mL, 試験管, マイクロピペット, ウォーターバス, ミキサー, 葉さじ, 葉包紙

2-2. 研究方法

実験1

70°C~80°Cに熱した水をエタノール 8mL, サラダ油5mL, 3.0mol/Lの NaOHaq7mLを大型試験管に混ぜたものに加えた。

1をガラス棒で絶えず 20 分間かき混ぜた。

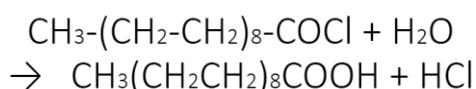
2を飽和 NaClaq100mLの中に入れ, 沈殿が浮かんで来たらガーゼを使って濾過した。

実験2

実験2では, 実験1で pHが高い沈殿物が生成されてしまったため, 中性により近づけるために酸性としての性質が強い 2 価の酸であるグルタミン酸を用いて実験を行った。

I. グルタミン酸をエタノール 5mLに溶かした。

II. 濃硫酸 2mLを加え, 60 分間温浴し, 放冷した。(図1)ここでグルタミン酸をエステル化しているのは, 下のステアリン酸の副反応を抑えるためである。



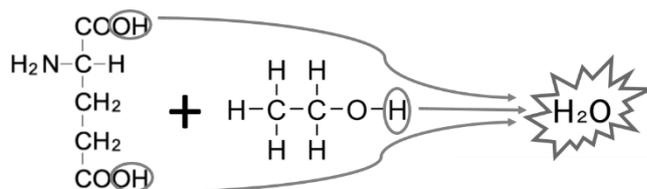
III. IIで放冷したものに, トリエチルアミンを加えた。これは, Iで生成したグルタミン酸ジエチル硫

酸塩をグルタミン酸ジエチルに戻すためである。

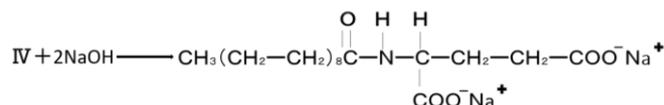
IV. IIIで放冷したものにステアリン酸クロリド 0.24mLを加えた。これによりステアロイルグルタミン酸の合成を試みた。

V. IVに 3.0mol/LNaOHaqを 0.4mL加え, けん化した。これによりステアロイルグルタミン酸ナトリウムの合成を試みた。(図2)

(図1)



(図2)



3. 結果

実験1

濾過したものを水に溶かし, ストローにつけて吹いた結果, しゃぼん玉はできたが, 泡立たなかった。pHは 9.7であった。

pHが 9.7だったので, 弱アルカリ性といえるが, 水酸化ナトリウムが残ってしまっていた可能性も考えられる。

実験2

IIIで白色沈殿が生成した。(画像1, 2)

IV, Vで白色沈殿がそのまま変化なしの状態であった。(画像3)

その沈殿物からシャボン玉はできず, 泡立つこともなかった。また, アルコールの臭いがした。

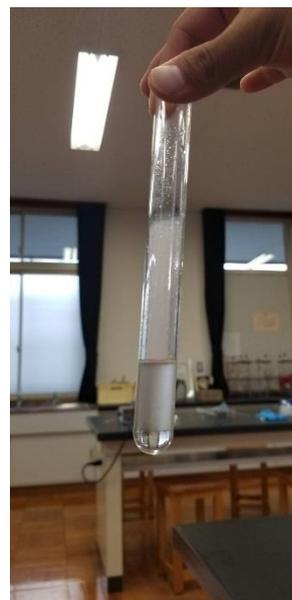
4. 考察

生成物の泡立ちや, ぬめり具合からして石けんといえるものはできなかった。また, 少しでも誤差が出てしまうと, 中性にすることもできず, 安全とは言いがたい。より誤差なく材料を量り取ることが主な改善点だ。ただの石けんを

作る先行研究は存在するが、安全性を重視した石けんを作る研究はほとんどなかったので自分たちで考えなければならない。また、それを考えたとしても、予想もしないところで反応が起こるかもしれないので使うそれぞれの物質の性質を十分に理解することが必要不可欠だ。実験2において反応させるグルタミン酸が固体であったため、水に溶かして水溶液にしたが、この状態であると濃硫酸の脱水作用が失われることがわかった。そこで、グルタミン酸をエタノールに溶かすことを試みたが、時間をかけて温浴しても溶けなかった。濃硫酸を加えると溶けたが、これは、濃硫酸とグルタミン酸のアミノ基の中和のためであったと考えられる。時間をかけて温浴したが、油状物質はほとんど確認できず、エステルができたかは疑問である。グルタミン酸を溶かす適当な溶媒が課題であった。実験2のIIにおいてトリエチルアミンを加えて生じた白色沈殿は、主にグルタミン酸が遊離したものと考えられる。また、IIでの生成物がグルタミン酸であったとしても、ステアリン酸クロリドで、わずかなステアロイルグルタミン酸の合成ができると考えたが、結果、ほとんど合成されていなかった。本実験において詳しい先行研究がなかったため、試薬の量は量的関係を用いて計算したが、正確なものであったかは疑問である。肌にやさしいアミノ酸系界面活性剤は、様々なメーカーから商品化されているが、自分たちで合成することはできなかった。

5. 画像

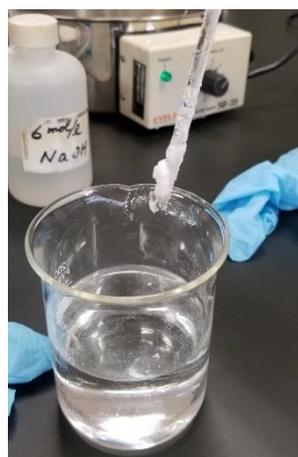
画像1



画像2



画像3



6. まとめと今後の課題

今後の課題の一つとして、水酸化ナトリウムの量を調整することが一つ挙げられる。また、生成物を手に少し取って、薄くのばしてみたところ、ぬめりがあり、石けんができたかのように思えたが、洗い流してみると、汚れは落ちなかった。水酸化ナトリウム水溶液が残っていたと思われる。

実験1でpHが高かったため、実験2ではより酸性としての性質が強いグルタミン酸を用いたが、それでも石けんと呼べるようなものはできなかった。具体的には、手につけても泡立たず、また、ストローにつけて息を吹き込んでも表面張力がつよいため、シャボン玉ができなかった。また、アルコールの臭いがしたことからエタノールが残っていたと考えられるため、実験前の計算もしくは物質の測量を誤ったという可能性が考えられる。他にもけん化の際の加熱の時間が短かったということも失敗の原因の一つであると思われる。したがって、今後の実験では、実験前の必要な物質の測量を正確に計算するために、四人おのおのが独自に計算をし、その結果を共有しあうことで、正確性を高める、そして、けん化の反応を十分に進めるために、けん化に時間をかける必要があるので、限られた授業時間を有効活用するために、けん化以外の測量の時間を短縮しなければならない。しかし、前述した通り、測量の段階でのミスが、石けんができなかったという結果につながった可能性は非常に大きいので、測定は迅速かつ丁寧に行われる必要があることは言うまでもない。

7. 参考文献

(1)LION キレイキレイ,

<https://kireikirei.lion.co.jp/lineup/>,

2019.2.7

(2)牛乳石鹸共進社株式会社,

<https://www.cow-soap.co.jp/products/category/sekken-soap/>, 2019.2.7

吉田良之助, 竹原将博, 1975, アミノ酸および脂肪酸を原料とする新しい界面活性剤について. 有機合成化学, 33, 9, 671-678.

松井瑞夫, 本田孔士, 増田寛次郎, 1994, 眼科クルーズ—専門医研修のために. 南江堂, 857p

トマトで美白大作戦！！

～ リコピンでメラニンを阻害しよう ～

金田紗奈 住岡美紀 谷脇由葉 福嶋恋奈

要旨

本研究では身近な食品を用いて日焼けを防止するという目的で、トマトのリコピンを用いて、ジャガイモの中に含まれるチロシナーゼ酵素を阻害できるかを調査した。そして、防止する効果が認められた。

1. はじめに

本研究では、夏場の登下校や部活動中の日焼けを身近な食品を用いて防ぎたいと考えた。カゴメ株式会社によるとトマトに含まれるリコピンには日焼けの原因となるメラニンの生成を抑制する効果がある。そこで本研究では、リコピンを含む身近な食品としてトマトに注目した。まず、予備実験の1つ目として、3種類のトマトの中に含まれるリコピンの量を調べた。結果として、リコピンは高濃度リコピントマト 100 g に対して、3.21 mg 含まれており、他の赤ミニトマトや黄ミニトマトよりも多くリコピンを含むことがわかった。

また、日焼けの原因となるメラニンは、アミノ酸の一種であるチロシンにチロシナーゼ酵素が働くことによってできるということがわかっている。慶應義塾大学自然科学教育研究センターによると、チロシンを含み、褐変によって日焼けのメカニズムを確認できる身近な食品として、ジャガイモが使用できる。そこで、予備実験2つ目として、ジャガイモの抽出液をそれぞれ 40℃、50℃、60℃に保ち6時間放置して褐変を確認した。しかし、ジャガイモに含まれるチロシンだけでは含有量が少なく、褐変が確認しにくかったため、ジャガイモ抽出液にチロシン溶液を加えて褐変を確認することとした。その結果、50℃で褐変が最も見られたため、チロシナーゼ酵素は、50℃で最も働く

とわかった。これらの結果を踏まえて、本実験では 30℃及び体温に近い 40℃、また褐変がよく見られた 50℃でジャガイモ抽出液の条件を変え、対照実験を行った。

2. 材料・研究方法

2-1. 研究試料

〔Ⅰ〕高濃度リコピントマト・赤ミニトマト・黄ミニトマト・一般の大きさの赤トマト(以下赤色大トマト)を使用した。また、リコピンの抽出溶媒としては、抽出効率がよく、学校に常備されているアセトンを用いた。

〔Ⅱ〕ジャガイモに含まれるチロシンは少ないため、チロシン溶液を作って使用した。以下にその方法を示す。(慶應義塾大学より)

チロシン 0.3 g を少量の 0.1 N の NaOH 水溶液に溶かし、PBS 143 mL を加えた後、蒸留水を加え、全量を 950 mL にした。1 N の HCl 水溶液を加えて pH を 7.5～8.0 程度に調整し、1000 mL まで蒸留水でメスアップした。使用日に溶液 1000 mL に対して、ドーパを極少量加えて攪拌した。対照実験としてトマト4種類から抽出したリコピンと、ポジティブコントロールとしてハイドロキノンを使用した。

2-2. 研究方法

〔Ⅰ〕4種類のトマトをフードプロセッサーでそれぞれ粉碎した。粉碎したトマトを 3g 電子

ばかりで量り，アセトンを 35 mL 加え，濾過した．次に，アセトンで 2 倍希釈したものを蓋付きの石英セルを使用して 505 nm の吸光度を測定した．そして，図 1 の相関図に基づき，下の計算式に吸光度を当てはめて定量値を算出した．

トマトのリコピン含有量(mg/100 g)

$$= 20 \times \frac{(505\text{nmの吸光度})}{(0.315 \times \text{試料重 (g)})}$$

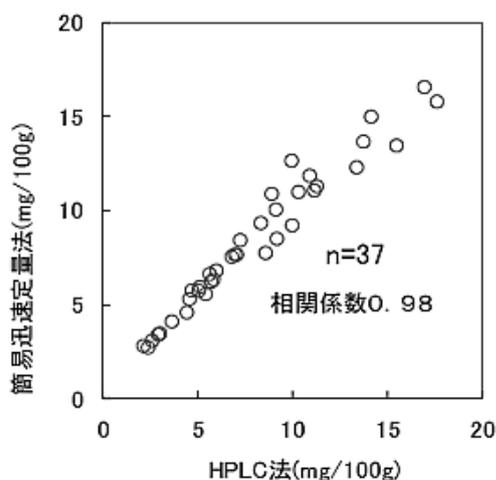


図 1. リコピンの HPLC を用いた妥当性の高い定量法と簡易迅速定量による定量値の相関図(農研機構より)

抽出した溶媒にリコピンが含まれるのか，また，そうであるならばリコピンの含有量はいくらになるのかを，京都府立大学において同大学の細谷憲教授と共同研究員の谷川哲也博士のご協力の下 HPLC を用いて測定した．

〔Ⅱ〕 ジャガイモを洗っておろし金でおろし，ガーゼで濾した抽出液と 24 mL のチロシン溶液を混ぜ，6 個のビーカーに均等に分けた．ここで，それらの溶液に〔Ⅰ〕で作ったトマトの抽出液 4 種類をそれぞれ 4 mL 加え，混ぜた．また，純水 10 mL にヒドロキノロン 0.3 g を混ぜ，ジャガイモ抽出液とチロシン溶液に加えた．

	ジャガイモ抽出液	チロシン溶液	その他
	○	○	
	○	○	ヒドロキノロン
	○	○	赤色大トマト抽出液
	○	○	高濃度リコピントマト抽出液
⑤	○	○	赤ミニトマト抽出液
⑥	○	○	黄ミニトマト抽出液

図 2. 対照実験〔Ⅱ〕の試料 6 種類

これら 6 種類の溶液をマイクロチューブにそれぞれ 1 mL 量りとり，同じものを 3 つ作った．3 つのフローターに各種類 1 つずつ取り付けた，事前に 30℃・40℃・50℃に設定しておいたインキュベーターに試料を入れ，6 時間静置した．

3. 結果

〔Ⅰ〕

HPLC による測定結果

図 3 リコピン標準品(200µg/mL)

図 4 高濃度リコピントマト

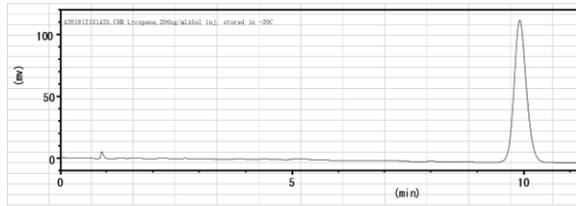
図 5 赤色ミニトマト (上 濃縮後，下 濃縮前)

図 6 赤色大トマト

図 7 総合 (上のグラフから順に赤色大トマト，赤色ミニトマト，高濃度リコピントマト)

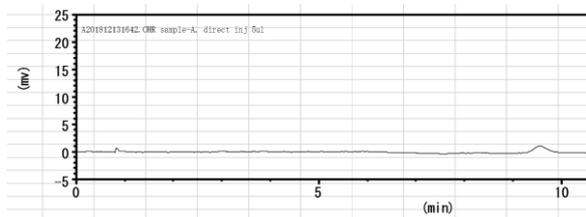
なお，赤ミニトマトの抽出液の濃度をより正確に測定するため 10 倍に濃縮すると，ピーク面積も濃縮前に比べて 10 倍になった(図 5)．濃縮したものと濃縮していないものの測定値の正確さが同じであったため，高濃度リコピン

トマト, 赤色大トマト抽出液については 10 倍濃縮を行わず測定した。



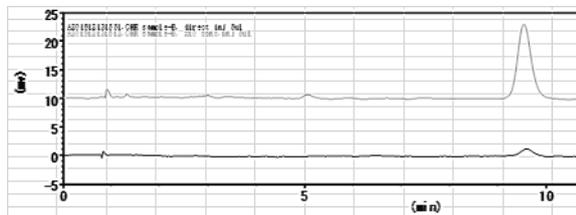
R.T.(min)	面積	高さ	半値幅(min)
9.902	2114430	115140	0

図 3. 標準品のクロマトグラム



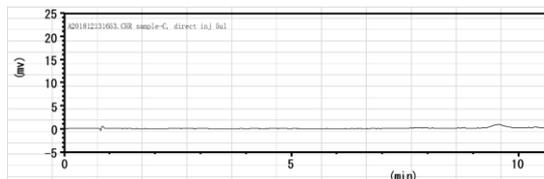
R.T.(min)	面積	高さ	半値幅(min)
9.551	26092	1337	0

図 4. 高濃度リコピントマトのクロマトグラム



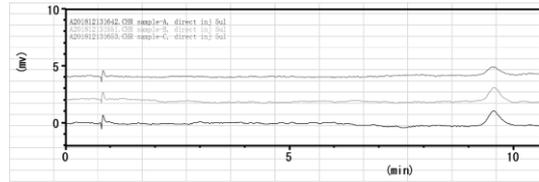
R.T.(min)	面積	高さ	半値幅(min)
9.574	22284	1219	0.275

図 5. 赤色ミニトマトのクロマトグラム(上 濃縮後, 下 濃縮前)



R.T.(min)	面積	高さ	半値幅(min)
9.527	15021	749	0

図 6. 赤色大トマトのクロマトグラム



	面積	リコピン濃度(μg/mL)
リコピン標準品	2114430	200
高リコピン	26092	2.47
赤ミニ	22284	2.11
赤大	85021	1.42

図 7. 総合 (上のグラフから順に赤色大トマト, 赤色ミニトマト, 高濃度リコピントマトである)

〔Ⅱ〕チロシン溶液とジャガイモにトマトを加えると, チロシン溶液とジャガイモのものより, 褐変していなかった. また, トマトの種類によるジャガイモの褐変の違いは, 6人それぞれで目視したところ, リコピン濃度の高いものほど褐変しなかった. 色の変化は図 8 の通りである.

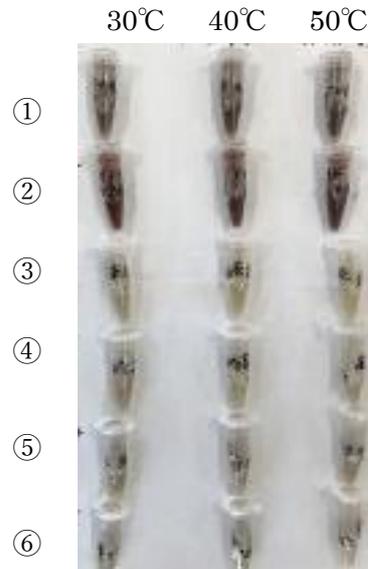


図 8. 研究方法〔Ⅱ〕の結果

4. 考察

〔Ⅰ〕HPLC で測定したリコピンの含有量が多いものから高濃度リコピントマト, 赤ミニトマト, 赤大トマトの順であり, 本研究で, 吸光度計を用いて計測した吸光度から算出したリコピンの含有量の順と一致した.

〔Ⅱ〕ジャガイモを漉した液とチロシン溶液の

混合液にリコピンの抽出液を加えたものとそうでないものを実験後に比べると、リコピンを加えた方が混合液の褐変を抑制できていたため、リコピンはチロシナーゼ酵素の働きを阻害すると考えた。リコピンを抽出した溶液の中でも、リコピンが多く含まれているものほど褐変が抑制されるという結果から、リコピンが多く含まれているものほど、チロシナーゼ酵素の働きを阻害する効果が高いといえる。

5. まとめと今後の課題

リコピンはチロシナーゼ酵素の働きを阻害することが分かった。また、リコピンの含有量が多ければ多いほどその効果が顕著であることが分かり、リコピンの含有量が最も少ない 0.041 mg であった黄色ミニトマトを用いてもチロシナーゼ酵素の働きを阻害したことから、少量のリコピンでも効果が期待できることが分かった。体内環境でもリコピンが作用することを確かめることができれば、リコピンによって人の日焼けを防ぐことができると言える。

6. 謝辞

京都府立大学の細矢憲教授には実験に関わる多大なご指導をしていただき施設を使用させていただいた。京都府立大学共同研究員の谷川哲也博士には主に高速液体クロマトグラフィー (HPLC) の使用におけるご指導をしていただき大変お世話になった。ここに感謝の意を表す。

7. 参考文献

カゴメ株式会社, リコピンと美白・美肌に関する研究,

<https://www.kagome.co.jp/statement/health/tomato-univ/medical/whiteskin.html>, 2019.2.7

慶應義塾大学自然科学教育研究センター, 酵素反応の特質を知る－酵素チロシナーゼ

によるメラニンの形成－,

<http://www.sci.keio.ac.jp/eduproject/practice/biology/detail.php?eid=00007>, 2019.2.7

農研機構, トマトのリコピンの最適抽出溶媒の選定とこれを用いた簡易迅速定量法, <http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/vegetea/2010/vegetea10-11.html>, 2019.2.7

人工イクラからのナノ粒子放出

～ 帯電による変化 ～

伊勢美貴 田畔夏希 那須陽華 野田彩華

要旨

本研究では、電荷が異なるナノ粒子を人工イクラで包み、電荷の違いに応じて人工イクラの膜からのナノ粒子の放出量に違いができるかどうかを調べた。その結果、ナノ粒子の電荷が+、-、電荷なしの順に放出されやすいことが示唆された。

1. はじめに

昨年度にアメリカ研修を経験し、現地で人工イクラ（アルギン酸ナトリウム水溶液を塩化カルシウム水溶液に滴下すると生成される膜。マイクロカプセルとも呼ばれる）に興味を持った。現地で訪問した癌研究をおこなう施設では、人工イクラを薬の製造に応用することを試みており、薬の成分を癌の存在領域に的確に届けるドラッグデリバリーシステムを研究の基盤としていた。研究を行うにあたり、海外研修で興味を持った人工イクラとドラッグデリバリーシステムに関することに取り組みたいと考えた。そこで本研究では、ナノ粒子を薬の成分に見立て、それを人工イクラで包み、ナノ粒子に異なる電荷をあたえることにより放出量をコントロールすることを目的とした。ナノ粒子の放出量を調節できれば、身体の患部に薬の成分をより正確に届けることができるのではないかと考えたのである。

予備実験では、アルギン酸ナトリウム水溶液を食紅で着色し、それを塩化カルシウム水溶液に滴下し人工イクラを作った。人工イクラを塩化カルシウム水溶液に入れて置いておくと、しだいに人工イクラの色が薄まり、塩化カルシウム水溶液に色がついた。このことから、人工イクラの膜には微少な穴が存在し、食紅を通すことが分かった。この膜は薬のカプセルに似た性質をもつと考え、人工イクラを用いて実験をすることにした。

2. 研究方法

①シリカナノ粒子の生成

①-1

エタノール 100 mL, 35%のアンモニア水溶液 7.1 mL, 脱イオン水 2.9 mL, テトラエキシシラン (TES) 4.0 mL を 250 mL の丸底フラスコに入れ、針で穴を開けたアルミホイルで口を覆った。その後、攪拌機で一晩中攪拌した。

①-2

①-1 操作後のものを2つのチューブに 20 mL ずつ入れ、遠心分離器にかけた(3000 回/分で 30 分)。その後、表面に浮かぶ物質を取り除き、20 mL まで再びエタノールで満たし、チューブを振ってナノ粒子を再分散させた。この一連の操作を再度行った。

①-3 電荷が+のシリカナノ粒子の生成

①-2 操作後の溶液 10 mL を、攪拌子を備えた小さなガラスシンチレーションバイアルに入れた。そして、200 μ L のアンモニア水溶液 (35%) および 200 μ L のアミノプロピルトリメトキシシラン (APTMS) を加え、1.5 時間攪拌した。

①-3' 電荷を持たないシリカナノ粒子の生成

①-2 操作後の溶液 10 mL を、攪拌子を備えた小さなガラスシンチレーションバイアルに入れた。そして、200 μ L のアンモニア水溶液 (35%) および 200 μ L のオクタデシル

トリメトキシシラン (ODTMS) を加え、1.5 時間攪拌した。

①-4

①-3, ①-3'操作後の溶液をそれぞれ 20 mL の遠心チューブに入れ、遠心分離し (4000 回/分で 10 分), 上清をエタノール (15 mL) と換えた。この操作を 3 回繰り返した。

②人工イクラの生成 I

①操作後の溶液をアルギン酸ナトリウム水溶液 (0.1 g/L) 30 mL に 10 mL ずつ入れ、攪拌機で攪拌した。ピペットで 4 mL ずつ量り取り、塩化カルシウム水溶液 (200 g/L) 50 mL に滴下し、生成した人工イクラのゲル化の様子を観察した。その後、+, -, 電荷なしの人工イクラをそれぞれ純水 50 mL につけて 1 時間静置した。500 nm の波長で人工イクラをつけておいた純水の吸光度を測定した。

③アルギン酸ナトリウム水溶液 (0.1 g/L) に、エタノール 3 mL を加えた。

④人工イクラの生成 II

①操作後の溶液 (- の電荷) を遠心分離器にかけた (3000 回/分で 10 分)。上澄み液を純水に換え、よく振って分散させたものを、アルギン酸ナトリウム水溶液 (0.1 g/L) 50 mL に 0.10 mL, 0.50 mL ずつ入れ、攪拌機を用いて攪拌した。ピペットで 4 mL ずつ量り取り、塩化カルシウム水溶液 (200 g/L) 50 mL に滴下した。生成した人工イクラのゲル化の様子を観察し、取り出して純水で洗浄し、それぞれ純水 50 mL につけて一晩おいた。その後、人工イクラをつけておいた純水 5 mL をビーカーに量り取り、ガスバーナーで加熱し、純水を蒸発させた。また、人工イクラをつけておいた純水の吸光度を測定した。対照実験として、ナノ粒子を含まない人工イクラを生成し、同様の操作をした。

⑤人工イクラの生成 III

エタノールを除いた①のナノ粒子を、0.50

mL ずつ量り取り、③の方法で吸光度を測定した。1 週間後、再度吸光度を測った。その後、人工イクラをつけておいた純水 5 mL を 50 mL ビーカーに量り取り、ガスバーナーを用いて蒸発させた。また、人工イクラをつけておいた純水 25 mL を 50 mL のビーカーに入れて蒸発させた。析出したものに純水 5 mL を加え、よく溶かし、吸光度を測定した。5 分後に再度吸光度を測定した。

3. 結果

①図 1 のようにナノ粒子が生成され、白い沈殿となった。

②図 2 のようにゲル化した。また、吸光度測定の結果、数値に大きな差は見られなかった (図 3)。

ナノ粒子の電荷	+	-	電荷なし
吸光度	0.006	0.008	0.000

図 3. 吸光度 (実験 2)

③図 4 のようにゲル状のものが生成した。

④図 5 のようにゲル化した。また、吸光度測定の結果、0.50 mL の方が吸光度が大きかった (図 6)。

ナノ粒子を含む溶液の量(mL)	0.10	0.50
吸光度	0.011	0.135

図 6. 吸光度 (実験 4)

人工イクラをつけておいた純水を蒸発させると、白い粉が析出した (図 7)。

このとき、ナノ粒子を含まない人工イクラをつけておいた純水では、蒸発させても何も析出せず、吸光度の値も 0 であった。

⑤吸光度測定の結果、数値に大きな差は見られなかった (図 8)。

ナノ粒子の電荷	+	-	電荷なし
吸光度	-0.017	0.003	0.004

図 8. 吸光度 (実験 5)

一週間後の吸光度測定の結果, 数値に大きな差は見られなかった (図 9).

ナノ粒子の電荷	+	-	電荷なし
吸光度	-0.004	0.001	0.001

図 9. 吸光度 (実験 5・一週間後)

人工イクラをつけた純水を蒸発させると, 白い粉が析出した (図 10, 11, 12).

吸光度測定の結果, 電荷の違いに応じて吸光度の数値に差が見られた (図 13).

ナノ粒子の電荷	+	-	電荷なし
吸光度	0.105	0.067	0.024

図 13. 吸光度 (実験 5・濃縮後)

4. 考察

結果①の白色沈殿は, ナノ粒子の沈殿であると考える.

吸光度の値の小数第 3 位は誤差とみなすため, 結果②から, 人工イクラからナノ粒子は放出されなかったと考えられる. 原因として, 人工イクラを純水につける時間が短かったこと, 人工イクラの膜の微小な穴の大きさがナノ粒子より小さかったこと, また人工イクラの内部でナノ粒子が凝集して膜を透過できなかったことが挙げられる. また, 予備実験とゲル化の仕方が異なっていたため, ゲル化がうまくいかなかったことも原因として挙げられる.

結果③から, 実験②で生成した人工イクラは, アルギン酸ナトリウム水溶液とエタノールが反応し

たものであったことが分かる.

結果④から, アルギン酸ナトリウム水溶液に加えたナノ粒子の量が 0.1 mL の場合よりも 0.5 mL の場合のほうが純水への放出量が多く, ナノ粒子の溶媒であるエタノールを純水にかえれば上手くゲル化することが分かった. また, 人工イクラをつけた純水を蒸発させた際に析出した白い粉はナノ粒子と考えられ, 吸光度の測定値が 0 ではなかったため人工イクラからナノ粒子が放出されたといえる. アルギン酸ナトリウム水溶液に加えるナノ粒子の量が多いほど, 放出されるナノ粒子も多くなるということも分かった. 実験②は, 人工イクラのゲル化の失敗, または純水に人工イクラをつける時間が短かったことが原因で, ナノ粒子は放出されなかったと考えられる.

結果⑤の図 8, 図 9 から, 1 日後, 1 週間後ともに, ナノ粒子は放出されなかったと考えた. 一方図 10, 11, 12, 13 から, 人工イクラからナノ粒子は放出され, +, -, 電荷なしの順に人工イクラからナノ粒子が放出されやすいと分かった. だが, ナノ粒子は時間がたつと底に沈んでいくため, 人工イクラをつけておいた純水を濃縮する際にそれぞれの電荷で濃縮の仕方に誤差が出たこと, 吸光度を測る順番によって吸光度の値に差が出たことが考えられ, 値が正確であるとは言い切れない.

また, ナノ粒子に電荷をつける際, 電荷によってナノ粒子の大きさが異なるため, 条件が一定にならなかったことも考えられる.

図 14, 15, 16 に+, -, 電荷なしのナノ粒子の構造式を示す.

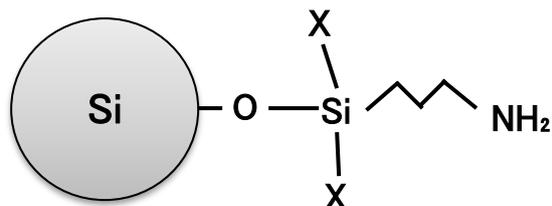


図 14 ナノ粒子の構造式 (+の電荷)

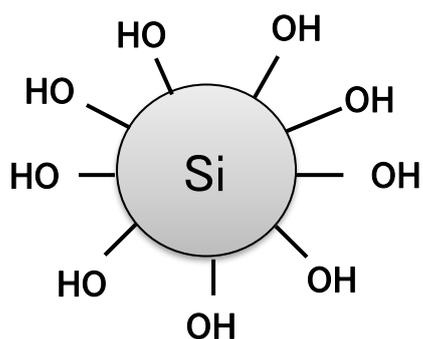


図 15 ナノ粒子の構造式（-の電荷）

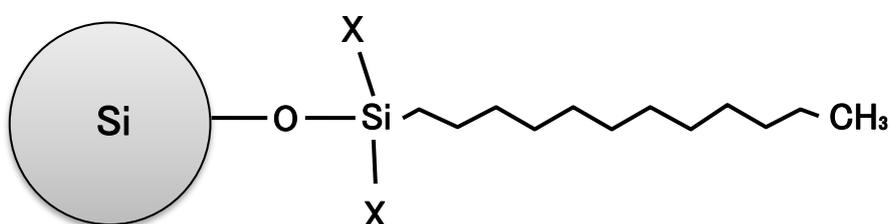


図 16 ナノ粒子の構造式（電荷なし）

7. 参考文献

川村康文, 東京理科大学, 人工イクラを作ろう!,
<https://www.rs.kagu.tus.ac.jp/~elegance/jikkensp10/jinkouikura.html>, 2018.
 5.14

5. まとめと今後の課題

人工イクラからは, ナノ粒子の電荷が+, -, 電荷なしの順に放出されやすいことが示唆されたが, ナノ粒子に電荷をつける際や放出量を測定する際に誤差が出たと考えられるため, 正確な実験結果とは言いがたい. 誤差を小さくするためには, ⑤の操作を繰り返し行い, 多くのデータをとるべきだったと考える. 今後は, 実験方法・測定方法を改善していきたい. また, ①で生成した白色沈殿がナノ粒子であったかどうか, ナノ粒子に電荷が付加していたかどうかを本実験では確かめきれなかったため, その確認方法も模索していきたい.

6. 謝辞

ケンブリッジ大学の Dr.Marlous Kamp 氏には, 実験を進めるにあたって多くの助言をいただいた.

8. 添付資料



図 1. 遠心分離後のナノ粒子



図 2. ゲル化の様子 (左から+, -, 電荷なし)



図 4. エタノールとアルギン酸ナトリウム水溶液の反応



図 7. 析出物

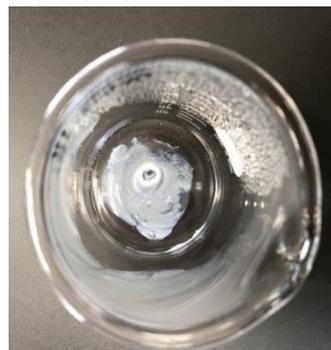


図 11. 析出した+の電荷のナノ粒子



図 12. 析出した電荷なしのナノ粒子



図 6. ゲル化の様子



図 13. 析出した-の電荷のナノ粒子

ポリフェノールで日焼けトメール

～ 植物が持つ紫外線防御効果・抗酸化作用の比較 ～

伊藤瑠唯風 岸本天寧 鈴木理子 池珠利

要旨

紫外線の肌への悪影響に関する認識は近年高まっている。そこで我々は、植物ポリフェノールを利用することで身体の外部だけでなく内部からも日焼けによるダメージを軽減することはできないかと考えた。本研究では Folin-Denis 法によって様々な植物の抽出液に含まれるポリフェノール量を定量し、紫外線防止効果と抗酸化作用という二つの視点から、どの植物に含まれるポリフェノールが日焼け止めとして応用するために最も適しているかを調べた。その結果、ローズマリーにおいて紫外線防止効果、抗酸化作用ともに高い効果が認められた。

1. はじめに

気象庁によると地表に達する紫外線量は年々増加傾向にあり、それに伴って紫外線が与える肌へのダメージも懸念されている。そこで我々は、紫外線吸収剤や紫外線散乱剤といった化学物質を含むことが多い市販の日焼け止めの代わりに、身近な植物に含まれるポリフェノールの紫外線防止効果を利用することで、肌に優しく画期的な日焼け止めを作ることができないかと考えた。さらに、ポリフェノールは抗酸化作用も持つこと、ポリフェノールによる日焼け防止は日焼け止めとして肌に直接塗るだけでなく食べることによって効果も期待されていることから、日焼け止めとしての有用性が高いと考えた。そこで本研究は、どの植物に含まれるポリフェノールが最も高い紫外線防止効果、抗酸化性を持つかを調べることを目的とする。

清枝ら(2011)によるとポリフェノールの一種であるケルセチンには紫外線を防御する働きがあるため、予備実験ではケルセチンを多く含むと知られている植物、またポリフェノールを多く含む植物を対象に紫外線防止効果の測定、比較を行った。その際、植物のポリフェノールを抽出した溶液の 280 nm～415 nm の吸光度を測定した。また、測

定には Shimadzu 製の分光光度計(UV-1700)を使用した。結果、ケルセチンを多く含むタマネギの皮が最も高い効果を示し、タマネギの皮と食用部分の色が異なることは、ケルセチンの紫外線防御効果によるものだと考察した。それゆえ本研究では、タマネギの皮と同様に皮と食用部分の色が異なる植物、予備実験で高い効果を示した植物を幅広く対象とした。また、この予備実験では各植物の抽出液のポリフェノール量が一定でなかった為、各抽出液に含まれるポリフェノールの濃度を統一した上で、紫外線領域の吸光度を比較する必要があると考えた。

抽出溶媒にはジメチルスルホキシド(以下 DMSO)を使用し、ポリフェノールの総量をもとめるにあたっては、多くの植物に含まれるポリフェノールであるカテキンの濃度に換算し、Folin-Denis 法を用いた。この Folin-Denis 法は、ポリフェノールなどの還元性のある物質に対して、アルカリ性下青く発色するフェノール試薬を用いた比色法であり、簡易迅速な方法であるため、総ポリフェノール量を測定するのに多用されている(鈴木ら, 2002)。また抗酸化性の測定は、ジフェニルピクリルヒドラジルフリーラジカル(DPPH ラジカル)による DPPH 法を使用した。DPPH 法は、

電子供与反応に基づいた抗酸化能の測定法であり、ラジカルに抗酸化物質由来の電子が供与され、ラジカルが消失することを原理としている。DPPH を溶解した溶液は DPPH ラジカルを産し、溶液は紫色を呈しているが、抗酸化物質と混合させると、DPPH ラジカルは消失し、これに伴い混合溶液は薄い黄色に変化する(船山, 2015)。この方法は生体に存在しないラジカルに対する抗酸化性であるが、多くの研究に用いられており、ほかのデータと比較するのに有益である(寺嶋ら, 2009)。

本研究の仮説として、ケルセチンを含むタマネギの皮が最も高い紫外線防御効果を示すのではないかと、また皮と食用部分の色が異なる植物は食用部分よりも皮の方が、紫外線防御効果が高くなるのではないかと考えた。

2. 材料・研究方法

2-1. 研究試料

本研究では、予備実験により紫外線防御効果が高いと予想される植物、さらに、皮と食用部分で色異なる植物を対象とした。用いた試料は、アボカド(皮および食用部分)、カボチャ(皮および食用部分)、キュウリ(皮および食用部分)、サツマイモ(皮)、ジャガイモ(皮)、タマネギ(皮および食用部分)、ナシ(皮および食用部分)、ナス(皮および食用部分)、パイナップル(皮および食用部分)、バナナ(皮および食用部分)、ブドウ(皮および食用部分)、リンゴ(皮および食用部分)、ローズマリーの 23 種類である。

2-2. Folin-Denis 法による検量線の作成

鈴木ら(2002)の方法を参考に検量線を作成した。また、質量の測定は電子天秤、体積の計測はマイクロピペット、攪拌はボルテックスミキサーを用いて行った。以下にその方法を示す。1 mg のカテキンを試験管に用意し、10 mL の DMSO を加えて攪拌した。その溶液から各 2 mL を試験管 A、B に入れ、試験管 B にはさらに DMSO を 2 mL

加えて攪拌を行った。試験管 C には試験管 B の溶液を 2 mL、DMSO を 2 mL 入れ、試験管 D も同様に系列的に希釈し、カテキンの濃度が異なる試験管 A~D を得た。それらの溶液をメスシリンダー A~D に各 1 mL 入れ、純水で 4.5 mL に定容後、攪拌した。純水で 5 倍に希釈したフェノール試薬、7.5% Na₂CO₃ 溶液各 1 mL をメスシリンダー A~D にそれぞれ加えて攪拌し、暗所で 1 時間反応させた。反応後、分光光度計(Shimadzu UV-1700)を用い、ベースラインには純水を用いて A のスペクトルを測定し、ピークの波長が 760 nm 付近であることを確認した上で 760 nm での A~D の吸光度を測定した。

その結果、反応後、図 1 のようなグラデーションを確認することができた。そして、カテキンの濃度と 760 nm での吸光度(ABS)の関係を示す検量線が得られた(図 2)。

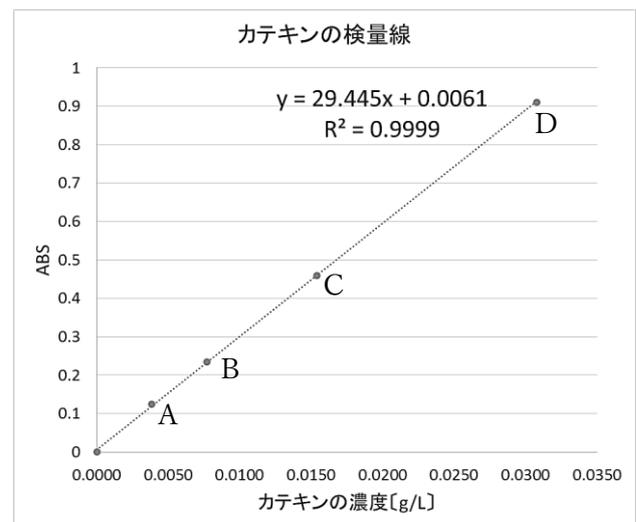


図 2. カテキンの検量線

このグラフは原点を通り、相関係数 $R^2 \approx 1$ の直線となっていることから、カテキンの濃度とフェノール試薬で呈色させた後の 760 nm での吸光度との間には比例関係があるといえる。そのため、この検量線を用いて、各抽出液に含まれるポリフェノールの、カテキンに換算した濃度を算出することにした。

2-3. ポリフェノールの抽出と濃度の定量

各試料を凍結乾燥させ、電動ミルによって粉末

状にしたところ図 3 のようになった。それらを各 100 mg 試験管に用意し、10 mL の DMSO を加えて攪拌し 15 分間抽出した後、メスシリンダーに移し、純水を用いて 50 mL に定容した。各溶液をろ過し、ろ液を各試料 2 本の試験管に 4.5 mL ずつサンプリングした。2 本のうち 1 本の試験管に、5 倍希釈したフェノール試薬と 7.5% Na₂CO₃ 溶液を各 1 mL 加え攪拌した後、暗所で 1 時間反応させた。反応後、2-2 と同様に 760 nm での吸光度を測定した。そしてフェノール試薬と 7.5% Na₂CO₃ 溶液を加えたサンプルの吸光度から、加えていないサンプルの吸光度を引くことで、サンプルと、フェノール試薬で呈色させたサンプルの吸光度の差を算出した。

そして 2-2 で得た検量線の式(式 1)「Y=29.445X+0.0061」の Y 値に吸光度の差を代入し、各抽出物に含まれるポリフェノールの、カテキンに換算した濃度を算出した。その後、各抽出液の濃度を 0.01 g/L にそろえるため、算出した濃度をもとに薄める体積を計算し、各抽出液を純水で薄めた。以上の手順で、各抽出液に含まれる濃度を統一した。

2-4. 紫外線領域の吸光度の比較

2-3 でポリフェノールの濃度を統一した各抽出液の 280 nm, 315 nm, 380 nm, 415 nm での吸光度を分光光度計 (Shimadzu UV-1700) で測定した。

2-5. DPPH 法による抗酸化性の比較

2-3 でポリフェノールの濃度を統一した各抽出液の抗酸化作用を DPPH 法(寺嶋ら, 2009)によって測定した。DPPH 2 mg をメスシリンダーに入れ、エタノールで 10 mL に定容し、これを DPPH 溶液とした。次に、この溶液に Tris-HCl 緩衝液 (200 mM, pH 7.4) 25 mL を加えて攪拌し、ブランク試料を作製した。試験管に、2-3 で濃度を統一した各抽出液 0.5 mL, ブランク試料 4.5 mL を入れて攪拌して混合液とし、暗所で 20 分反応さ

せた。反応後、ブランク試料の吸光度のスペクトルを分光光度計 (Shimadzu UV-1700) で測定し、そのピークが 545 nm であったことから、その後各混合液の 545 nm での吸光度を測定した。ラジカル消去率は次の式 2 を用いて算出した。

$$\text{ラジカル消去率} = \frac{\alpha - \beta}{\alpha} \times 100 \quad (\text{式 2})$$

α = ブランク試料の吸光度

β = ブランク試料と抽出液の混合液の吸光度

3. 結果

3-1. 紫外線領域の吸光度の測定結果

280 nm, 315 nm, 380 nm, 415 nm と波長を変化させて測定すると、それぞれ以下の図 4 ~ 7 のような結果を得ることができた。ただし、吸光度が負の値をとった場合は、吸光度が限りなく小さかったと解釈し 0 として扱った。その結果、415 nm では 0 となる試料が数多く見られた。

測定したどの波長の場合でも、ローズマリーの抽出液の吸光度は著しく高く、短波長である 280 nm, 315 nm では他の植物の吸光度よりも 5 倍以上高い数値を得た。一方で波長が 380 nm, 415 nm と長くなるにつれ、カボチャの皮やキュウリの皮の吸光度がローズマリーと同様に際立って高いことが確認でき、415 nm でのカボチャの皮の吸光度は、同波長でのローズマリーの吸光度に勝るものとなった。

波長によって、吸光度の高い植物の種類には変化があったものの、食用部分よりも皮の抽出液の方が比較的高い吸光度を示しており、全体としてローズマリー、カボチャの皮、キュウリの皮に次いで、ナスの皮、サツマイモの皮、タマネギの皮の吸光度が高い傾向にあった。一方で食用部分に着目してみると、アボカドの抽出液の吸光度が他の植物と比較して高い傾向にあった。

仮説をもとにタマネギの皮に注目すると、吸光度の平均値は、図 8 に示すように全試料の中で 6 番目に高かった。

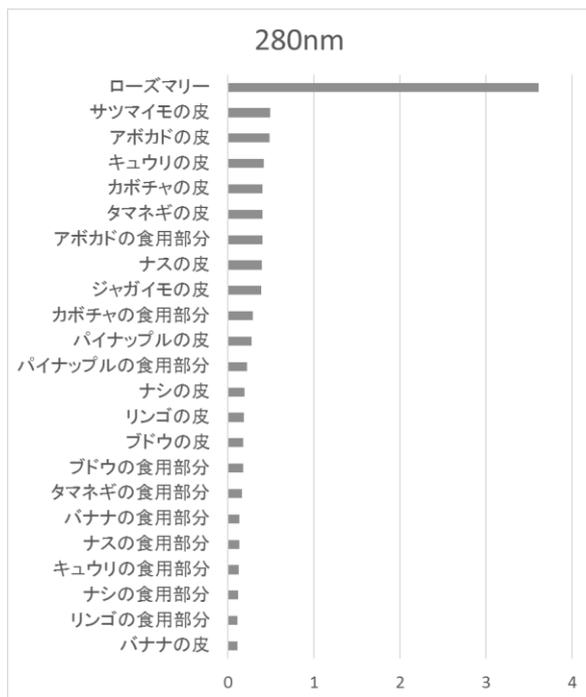


図 4. 280nm の吸光度

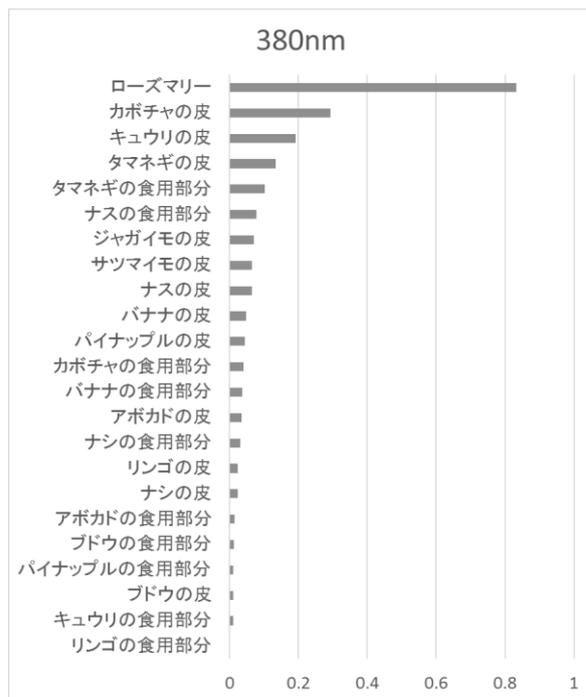


図 6. 380nm の吸光度

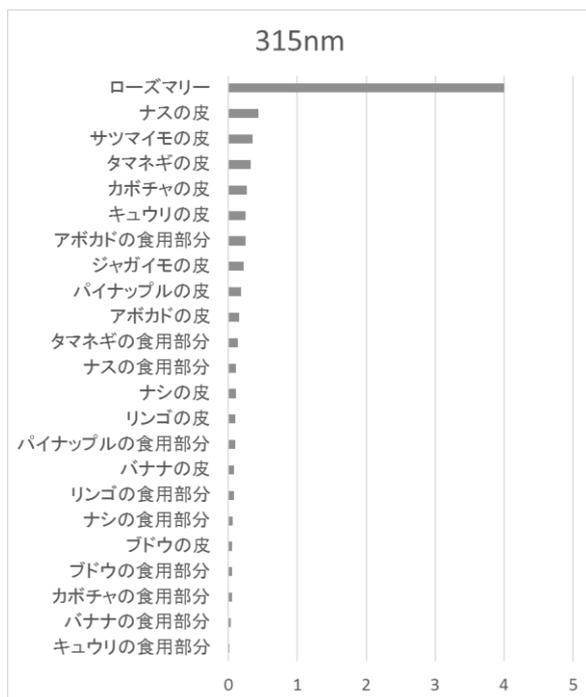


図 5. 315nm の吸光度

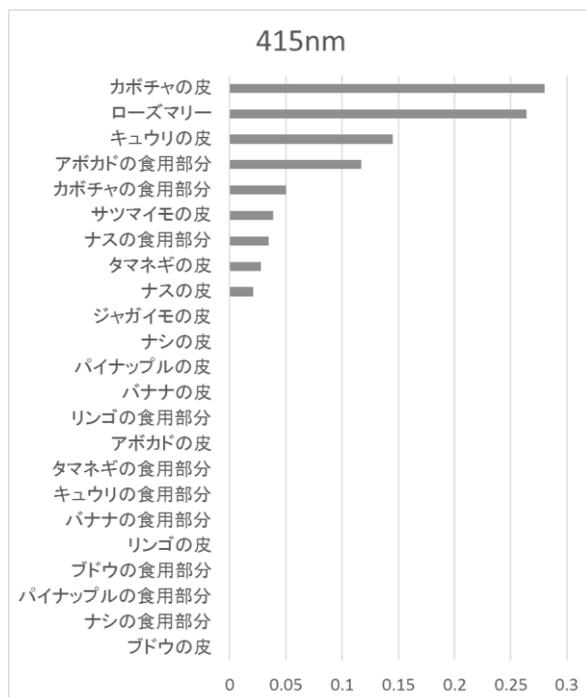


図 7. 415nm の吸光度

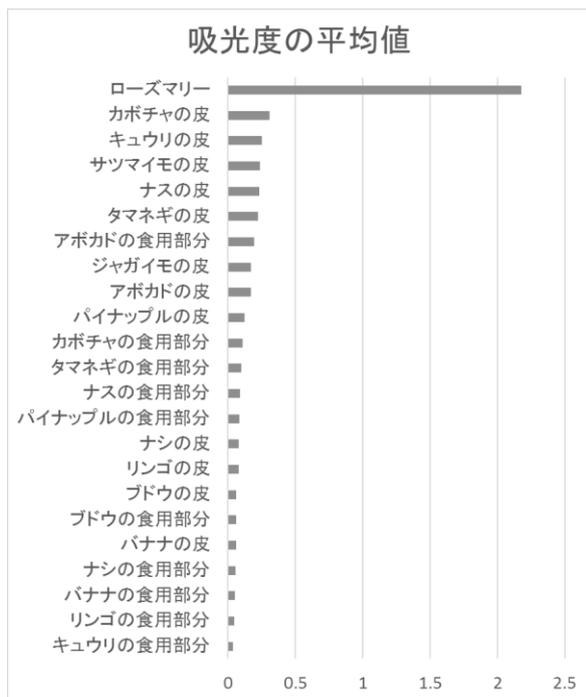


図 8. 吸光度の平均値

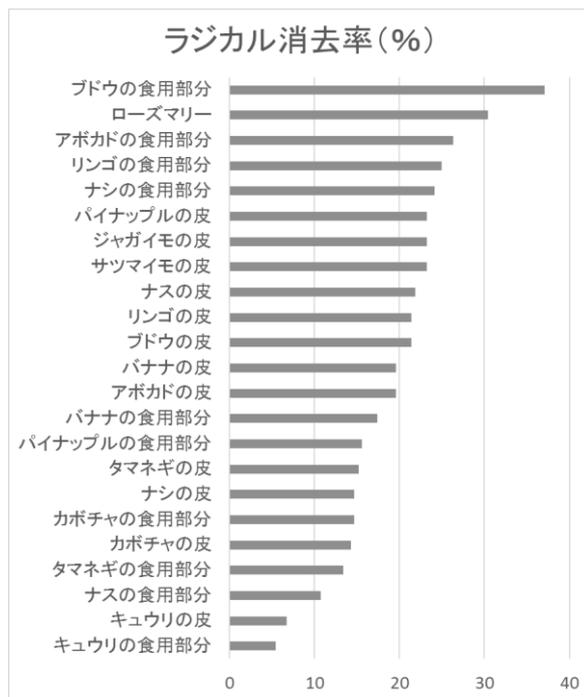


図 11. ラジカル消去率

3-2. 抗酸化性の測定結果

反応後、紫色であった DPPH 試薬と試料の混合液は図 9 に示すように淡赤色となった。しかし、ローズマリーのみ例外で、図 10 のように淡褐色となった。

545 nm での吸光度を測定したところ、ブランク試料の吸光度 $\alpha = 0.224$ であったため、式 2 に $\alpha = 0.224$, $\beta =$ 「ブランク試料と抽出液の混合液の吸光度」を代入すると下の図 11 に示す結果が得られた。

ラジカル消去率が最も高かったのは、ブドウの食用部分であった。ローズマリーについては、色の変化は最も大きかったものの、消去率の高さでは 2 番目となった。

全体的には、3-1 で低い紫外線防御効果を示したブドウ、リンゴ、ナシの食用部分のラジカル消去率が高い傾向にあり、反対にローズマリーを除いて高い紫外線防御効果を示したカボチャ、キュウリの皮などは、消去率が低い傾向にあった。またアボカドの食用部分は、紫外線防御効果が食用部分の中では高かったが、ラジカル消去率も同様に高い値を示した。

4. 考察

3-1 ではローズマリーの吸光度は全体的に高く、3-2 ではラジカル消去率も高い値を示した。すなわちローズマリーは紫外線防御効果も抗酸化力も高い理想的な植物であると言える。抗酸化力については、ローズマリーには抗酸化成分であるカルノシン酸やロスマリン酸が含まれていることが原因であると考えられる(松藤ら, 2010)。

アボカドの食用部分も紫外線防御効果と抗酸化力がバランスよく高い傾向にあった。アボカドに含まれるルチン(ケルセチン-3-ルチノシド)というケルセチンの配糖体が紫外線を吸収することが理由として考えられる(清枝ら, 2011)。また抗酸化性については、アボカドに含まれるカテキンやエピカテキン、クロロゲン酸類が影響しているからであろうと報告されている(平澤ら, 2008)。

紫外線防御効果に限定すると、カボチャやキュウリなどの野菜において、食用部分よりも皮の抽出液の方が高い効果を示した。キュウリには、タマネギ同様ケルセチンなどの高濃度のフラボノイドが含まれていることが原因として考えられる(Zhaoら, 2003)。掲げた仮説が正しかったことは検証で

きたが、皮の紫外線防御力の強さが必ずしも皮と食用部分の色が異なることに関連しているとはいえないと考えた。

タマネギの皮の紫外線防御力が最も強いだろうという仮説については、正しくないという結果になった。タマネギの皮に含まれるポリフェノールの総量が多いため、予備実験では高い効果が確かめられたが、濃度を 0.01 g/L にした条件では、抽出液に含まれるケルセチン濃度が低くなり、他の植物に比べ顕著に高い紫外線防御効果は示さなかったと考えられる。

2・3と同様にしてケルセチン標準品の濃度を 0.01 g/L に調整し、スペクトラムをとったところ、図 12、図 13 のようになった。

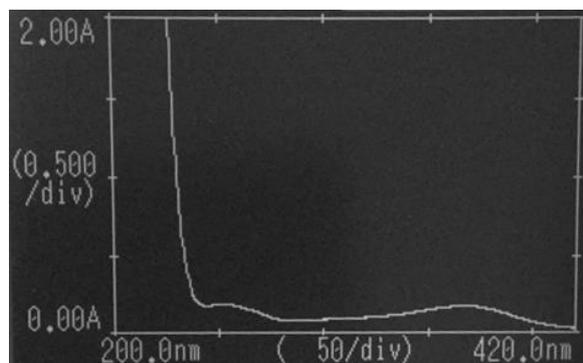


図 12. ケルセチン標準品(0.01 g/L)

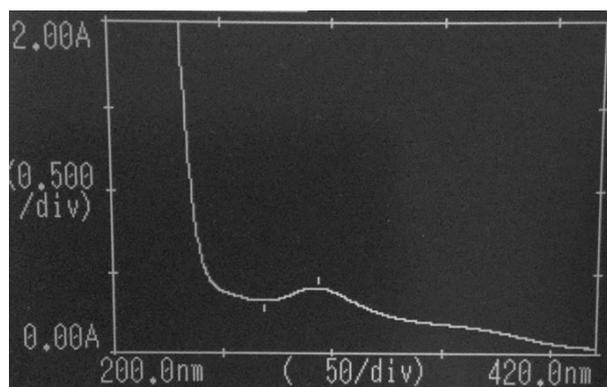


図 13. タマネギの皮の抽出液(0.01 g/L)

また、280 nm、315 nm、380 nm、415 nm での吸光度を測定したところ、表 1 のような結果になった。比較のためにローズマリーの吸光度も示す。

	玉ねぎの皮	ケルセチン	ローズマリー
280 nm	0.401	0.117	3.61
315 nm	0.328	0.126	4.00
380 nm	0.135	0.175	0.833
415 nm	0.028	0.058	0.204
平均	0.223	0.119	2.16

表 1. ケルセチン標準品との吸光度の比較

タマネギの皮の抽出液の方がケルセチンよりも、平均すると 2 倍近くの吸光度を示しているが、いずれもローズマリーの吸光度の大きさには満たないことが分かる。そのため、紫外線防御効果が最も大きいのはローズマリーの抽出液だと結論づけた。

抗酸化作用に注目すると、ローズマリー、アボカドの食用部分以外に、ブドウやリンゴの食用部分が大きな効果を持つことが明らかとなった。ブドウとリンゴにはプロシアニジンが含まれており、それらが酸化を防止したと考えられる(濱渦ら, 1999)。

以上より、ローズマリーは紫外線防御効果、抗酸化性のいずれにおいても優れており、UV-A の防御にはカボチャの皮が、酸化防止にはブドウの食用部分が高い効果を示すといえる。

5. まとめと今後の課題

5-1. まとめ

ローズマリーに含まれるポリフェノールには、極めて高い紫外線防御効果と抗酸化力があるということがわかった。また、多くの野菜や果物の皮に含まれるポリフェノールには紫外線を防御する働きがあり、このことを利用すれば肌に優しい日焼け止めを作ることができるだけでなく、野菜、果物の廃棄される部分が減り、環境にも優しいと考えられる。

5-2. 今後の課題

本研究では植物の抽出液全体の抗酸化性は調べることができたものの、ポリフェノールだけでなくビタミン C による効果も含まれているため、実際にポリフェノールにどれほど抗酸化力があるのかは明らかにすることができなかった。また、Folin-Denis 法では、ビタミン C もカテキンと同じくらいの発色強度を有するため、ビタミン C を多く含む植物については、別途ビタミン C を定量し、Folin-Denis 法における吸光度に換算してその量を控除する必要がある(国民生活センター, 2000)。ゆえにビタミン C の定量も行い、抗酸化力の高い植物は、それがポリフェノールによるものなのか、ビタミン C によるものなのかを明確にすることを課題とする。

また、ローズマリーのようなハーブやロスマリン酸を含むシソ科の植物を対象として実験を行いたい。

さらに、本研究の結果をどのように日焼け止めとして応用していくことが可能であるかを考え、実際に検証を行うことも課題である。その際には、本研究で高い紫外線防御力が発見された植物と、高い抗酸化性をもつ植物の成分を混合した場合に、お互いのポリフェノールの働きが弱まってしまう可能性はないかということの吟味の必要性が示唆される。

6. 謝辞

本研究を進めるにあたり、試料の凍結乾燥を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。ここに感謝の意を表します。

7. 参考文献

清枝希帆, 前川昌子, 2011, タマネギ外皮中を用いた染色の紫外線防御効果. 日本家政学会誌, Vol.62, No.3, 165-171.
国民生活センター, 2000, ポリフェノール含有食品の商品テスト結果,

http://www.kokusen.go.jp/pdf/n-20000508_1.pdf, 2019.2.7

鈴木誠, 渡辺敏郎, 三浦麻子, 原島恵美子, 中川靖枝, 辻啓介, 2002, Folin-Denis 法による総ポリフェノール量測定のための抽出溶媒の検討. 日本食品工学会誌, Vol.49, No.7, 507-511.

寺嶋正明, 新島亜佐子, 岡崎夏子, 吉田麻里, 吉田麻友子, 椎葉昌美, 2009, レーダーチャートを用いたハーブティが示す抗酸化性の総合的評価. 日本食品工学会誌, Vol.10, No.2, 87-94.

濱渦康範, 飯島悦子, 1999, リンゴの果肉抽出物のポリフェノール組成と抗酸化活性. 日本食品科学工学会誌, Vol.46, No.10, 645-651.

平澤マキ, 志村晃一, 清水章子, 村清司, 徳江千代子, 荒井綜一, 2008, アボカドの食物繊維およびポリフェノールの分析と機能解析. 日本食品科学工学会誌, 55 巻 3 号, 95-101.

船山智代, 2015, 科学的思考力の育成を目指した学生主体の化学実験プログラムの作成—ラジカル消去率の測定による物質の抗酸化能力の評価—.「教育学部紀要」文教育学部教育学部, 第 49 集, 235-236.

松藤寛, 千野誠, 山形一雄, 山崎壮, 2010, 天然酸化防止剤ローズマリー抽出物中の活性成分と活性寄与率. 日本食品化学学会誌, Vol.17, No.3, 164-170.

Xiheng Zhao, Jincal Li, 松井鑄一郎, 前澤重禮, 2003, キュウリにおける節位の異なる葉の抗酸化レベル. 園芸学会雑誌, Vol.72, No.4, 324-328.

8. 添付資料

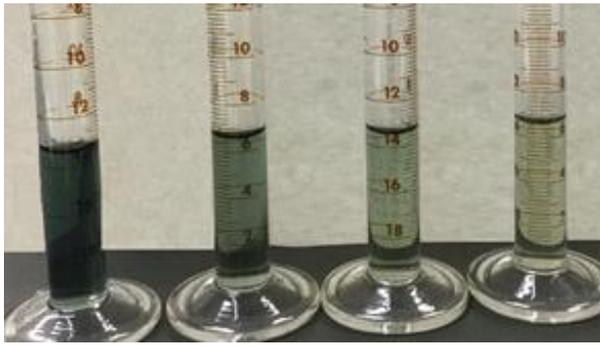


図 1. (左から順に試験管 A, B, C, D)



図 3. 凍結乾燥後の試料

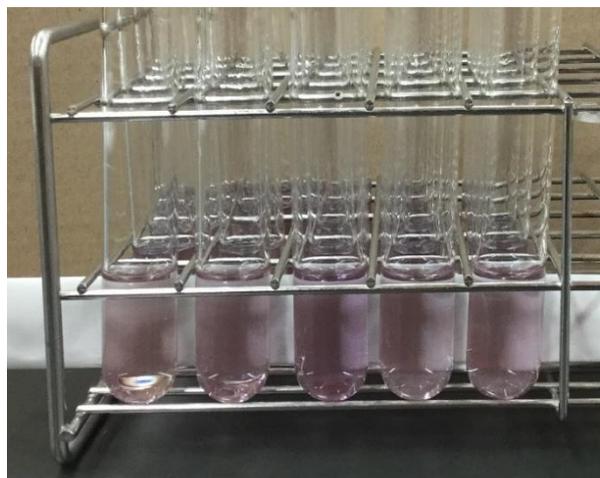


図 9. DPPH 法 反応後



図 10. DPPH 法 反応後
(左から順にブランク試料, ローズマリー)

音による消火

櫻田侑也 山崎孝太 山田幸海 吉田航

要旨

本研究では、音波による空気の密度変化を利用して炎の消火に挑戦した。初めに1個の音源を用いた予備実験において、音の振幅が大きいほど、また音の振動数が小さいほど炎が大きく揺れることを確認した。この結果から、音の振幅を大きくし、振動数を小さくすることでより空気の密度変化が大きくなると予想した。次に本実験では、さらに空気の密度変化を大きくするために、複数の音源による音の干渉の利用を考えた。そこで関数アプリを用いて、空気の密度変化が大きくなる点を座標として算出し、実際に教室の中で座標平面の測定、ろうソクの設置を行った。そして、同じ4台の音源から同時に同位相の音を発生させ、各々の炎の様子を観察した。その結果、どの炎にも変化は見られなかった。この結果の原因として、音の振幅の不足、不正確なろうソクの配置、音を発生させるタイミングのずれ等が考えられた。

1. はじめに

音波は疎密波である。そのため、空気中を伝わる時、空気の密度変化が引き起こされている。私たちはこの現象を利用して火を消すことができないかと考えた。

本実験では音の干渉を利用することで、より大きな空気の密度変化を引き起こし、火の消火ができると考えた。

2. 材料・研究方法

2-1. 予備実験

予備実験として、スピーカー(ANKER-Sound-Core)1台からスマートフォンアプリ Garage Band を用いて一本のろうソクに向かって一定の音を発生させ、ろうソクの炎の変化を観察した。外部からの風をできる限り避け、炎の揺れの原因を音波の密度変化のみにするため、ろうソクの炎の周りを5面の段ボールで囲んだ。その際、スピーカーから出る音の振幅、音の振動数の一方を固定し、他方を変化させて炎の変化を調べた。

その結果、音の振幅が大きいほど炎が大きく揺れ、また振動数が小さいほど炎が大きく揺れた。火が消えることはなかったが、この予備実験から、振幅を大きくし、かつ振動数を小さくすることで、より空気の密度変化が大きくなると予想した。よって

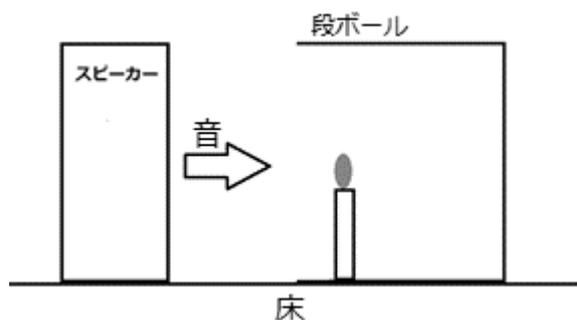


図1 予備実験における模式図

2-2. 研究道具、使用アプリケーション

本実験においては、高さ15 cmの亀山ろうソクと、音源としてスピーカー(ANKER-Sound-Core)を用いた。

音が干渉し強め合う点を算出するために、関数アプリ GeoGebra を用いた。また、音源から音を発生させるためにアプリ onsA440 を用いた。

2-3. 算出方法

はじめに、同位相で音が出る音源が S_1, S_2 の2個の場合を考える。強め合う位置をPとすると次の式が成立する。

$$|\overline{S_1P} - \overline{S_2P}| = m\lambda \quad (m = 0, 1, 2, 3 \dots) \quad - (1)$$

(S_1, S_2 :音源の位置, λ :波長[m])

関数アプリ GeoGebra を用いて P の軌跡を算出すると、P は S_1, S_2 を焦点とする双曲線を描くことが分かった(図 2-1, 2-2)。

図の対称性から下図のような2個の音源を選択しても一般性を失わない。

なお、(1)式の整数 m の範囲, λ , $\overline{S_1S_2}$ の具体的な数値の決定理由については 2-4 で述べる。

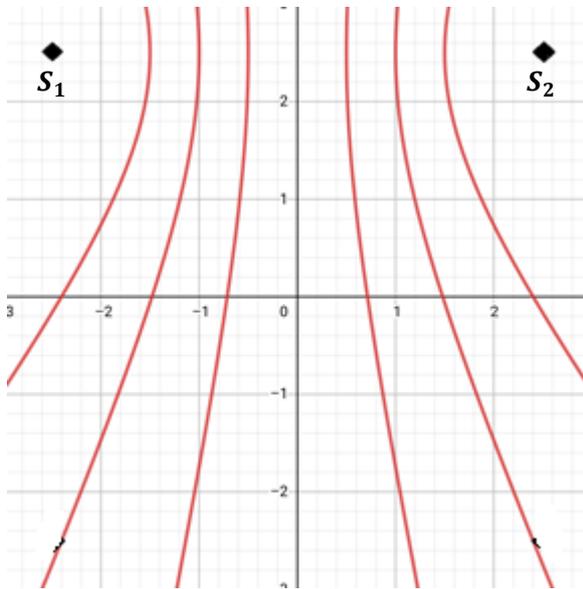


図 2-1 2 個の音源が 1 辺 5 m の正方形の一辺上にある場合

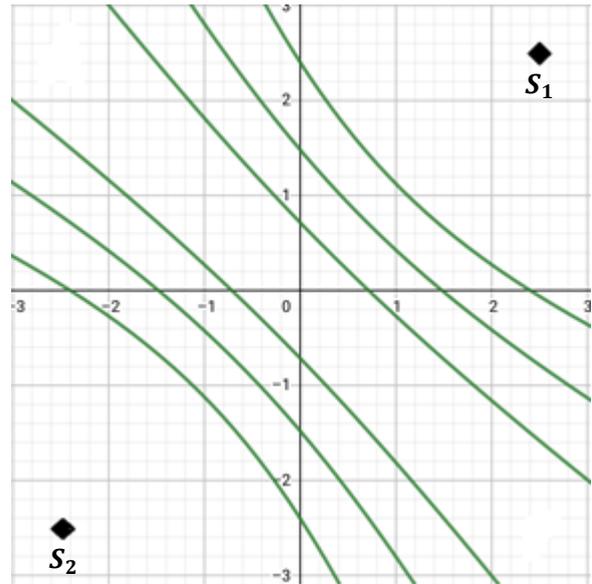


図 2-2 2 個の音源が 1 辺 5 m の正方形の対角線上にある場合

次に、本実験の目標である音源が 4 個の場合を考える。図の対称性から図 2-1 を 90° 毎に回転させた図を 4 つと、図 2-2 を 180° 毎に回転させた図を 2 つの合計 6 つの図を重ねればよい。

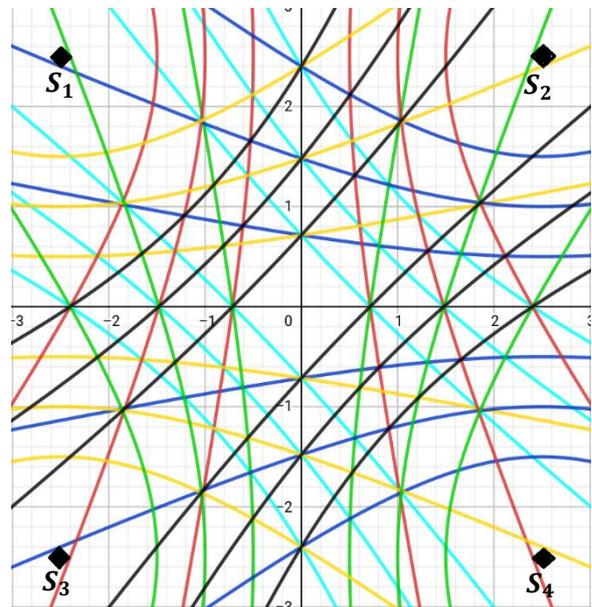


図 3 音源が 4 個の音源が 1 個 5m の正方角の各頂点にある場合

※図 3 の双曲線の焦点について各々、

赤色： S_1, S_2

黄色： S_1, S_3

黒色： S_1, S_4

水色： S_2, S_3

青色： S_2, S_4

緑色： S_3, S_4

を示している。

※図 2-1, 図 2-2, 図 3 の◆は音源をしめす。

2-4. 具体的数値の決定

学校内で十分な広さを確保し、かつ風の影響を無視できる場所として教室を選択した。また、実験者が動き回ることが可能なように、教室内に 1 辺が 5 m の正方形を描き、その各頂点に音源を置き、2 個の音源間の距離は 5 m または $5\sqrt{2}$ m とした。前者は 2 つの音源が正方形の 1 辺上の場合、後者は 2 つの音源が正方形の対角線上の場合である。

$$\overline{S_1S_2} = 5 \quad (\text{図 2-1})$$

$$\overline{S_1S_2} = 5\sqrt{2} \quad (\text{図 2-2}) \quad - (2)$$

次に、点 P の存在条件を考える。2 個の音源と点 P が三角形の頂点となるためには、以下の不等式が成立することが必要である。(図 4)

$$|\overline{S_1P} - \overline{S_2P}| < \overline{S_1S_2} \quad - (3)$$

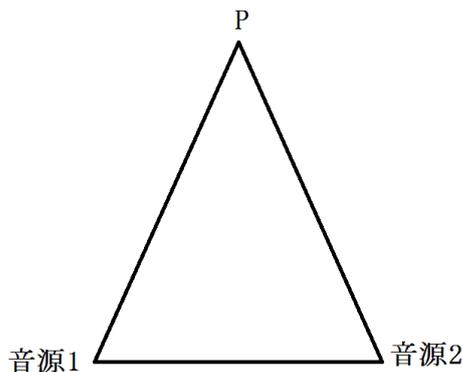


図 4 点 P の存在条件

本実験において、上記の 3 式が同時に成立することから、以下の不等式も成立する。

$$m\lambda < 5 \quad (\text{図 2-1})$$

$$m\lambda < 5\sqrt{2} \quad (\text{図 2-2}) \quad - (4)$$

音速 v [m/s], 振動数 f [Hz], 波長 λ [m] の 3

数の間には次以下の等式が成立する。

$$v = 340 \quad - (5)$$

$$f\lambda = 340 \quad - (6)$$

(4)式, (5)式及び(6)式を用い、本実験のために十分な数の整数値 m が存在し、かつ音が干渉する点を正方形内にある程度確保するために、振動数を 340 Hz, 波長を 0.7 m と定めた。

2-5. 研究方法

はじめに、無風状態の教室内にメジャーで 5 m×5 m の正方形を測り、1 m 毎に定めた格子点及び算出した強め合う点でロウソクを床に固定した。

次に、4 台の iPad に接続したスピーカー 4 台から同時に 340 Hz の音を発生させた。

3. 結果

音波が干渉し合う点上、及び格子点上に置いた炎も消えなかった。何の変化も起こらなかった。

4. 考察

本実験で、仮説とは異なる結果になった要因として考えられるのは 3 つある。

1 つめの要因として、単純に振幅が足りていなかったということが考えられる。今回使用したスピーカーはそれほど性能がよいものではなく、この 5 m 四方の領域で使用するには振幅が不足していたように思われる。

2 つめの要因として、計算した座標に正確にロウソクを配置できていなかったということが考えられる。

3 つめは、スピーカー間での接続をできなかったため、4 つのスピーカーから音を出す作業を手動で行わなければならない、それぞれのスピーカーによって、音の出すタイミングが異なっていたことである。

5. まとめと今後の課題

本実験の反省として、音の反響や減衰を考慮し

ていなかったということがあげられる。音の反響や減衰は、音に関する実験を行う上で重要な条件であるが、高度な計算を要するため、やむを得ず本実験では断念した。また、音が2次元ではなく3次元で伝わることを考慮していなかったことも大きな要因である。

実験規模を大きくしすぎたことや使用するスピーカーの性能の悪さ、不正確な座標配置など反省点は多い。すべての条件を考慮して適切な実験を行うということが、今後の課題であろう。

エッグドロップ実験を活用した保護構造の研究 ～シェルターの構造と落下速度、卵の割れ方の関係～

加藤龍之介 三双清央 原田太一 吉川昂甫

要旨

本研究では、保護構造を考えるという観点から、ケント紙製のシェルターに食用鶏卵を入れて落下実験を行った。シェルターの大きさを変化させると落下速度が変化した。その結果、シェルターの母線の長さを変化させることによって空気抵抗や質量が変化し、物体の落下速度を低下させることはできたが、円錐のみの保護構造で卵を割らずに着地させることはできなかった。

1. はじめに

最近の科学コンテストなどで、「エッグドロップ甲子園」と呼ばれるイベントがある。

「エッグドロップ甲子園」とはエッグドロップ(ある一定の高さから落とす生卵を紙だけで制作したシェルターで保護し、割れないようにする)という実験を利用したイベントである。そこで、私たちはエッグドロップをテーマとして実験を行うことにした。シェルターの形状として、円錐型に絞って研究することにした。その理由は、同条件で実験を行うために、シェルターが作りやすい、円錐のとげ(矢印をつけた部分)が卵よりも先に接地することで、衝撃が吸収されやすい構造を持つという2つの条件を満たすからである。(図 1)また、円錐型シェルターの各部の構造は本論文では(図 2)のように呼称する。私たちは学校の屋外にある高さ 7.35 m 階段の踊り場(平面で真下に地面、地面との間に障害物なし)の地点から卵を落下させ、予備実験および本実験を行った。(図 3)予備実験として各シェルターの大きさ(母線)を変えることで卵が割れるかどうかを確かめた。その結果、どの長さ(12, 15, 18, 21, 24 cm)でも割れた。よって、本実験でのシェルターは母線の長さを 18 cm、展開図にしたときの扇形の中心角を 257 度に設定することにした。なお、展開図におけるのりしろは 6 cm である。次に、シェルターのとげに台をつけて実験を行っ

たところ卵は割れなかった。そこで卵を守るシェルターを作るという目的は達成できたので、私たちは次のような本実験を考えた。それは台無し(図 3)のシェルターに工夫を加えて卵を割れないようにするという実験である。そのために、空気抵抗を増やして速度を落とす必要があると考えパラシュート(図 3)をつけたり、パラシュートが風にあおられる影響を減らしたりするための姿勢安定装置をつけるということを考えて。

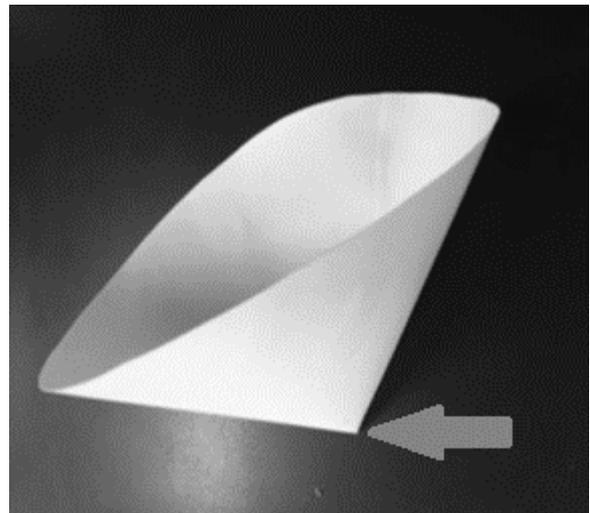
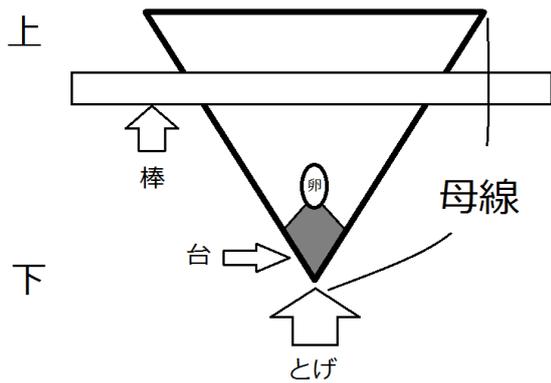


図 1 円錐型シェルター



※本実験では、パラシュートは図4のように上部に取りつけた。

図2 円錐型シェルターの構造の説明



図3 落下実験の様子

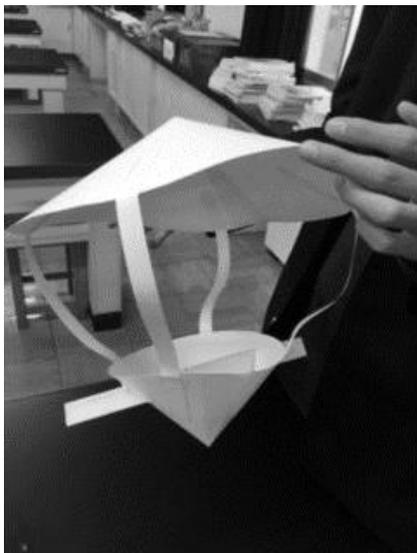


図4 実験4で取りつけたパラシュート

2. 材料・研究方法

2-1. 研究試料

本研究で用いた鶏卵は、市販で販売されている食用卵(白・L サイズ・65g)を用いた。シェルターを作成するのに使用したケント紙は厚さ 0.20 m, 大きさ A2 サイズ 420×594 mm, 157 g/m² のものを用いた。紙と紙の接合部分には木工用ボンド、シェルターの形を作成するのにコンパス, カッターを使用した。

2-2. 研究方法

卵が入ったシェルターを 7.35 m の高さから落とし、落下地点から 5 m 離れたところからハイスピードカメラで固定撮影して落下の様子・速度を記録した。落下地点には新聞紙を敷き、自身・黄身の飛散を抑えた。以上のことは、以下の実験すべて同条件で行った。

実験 1. 直径 18 cm (図 1) の円錐型シェルターを、何も乗せずにそのまま落下させた。

実験 2. 直径 18 cm のシェルターに卵を入れ、そのまま落下させた。

実験 3. 直径 15 cm のシェルターの上部に直径 21 cm のシェルターを傘代わりに反対向きに 4 本の 5 cm×1.5 cm の紙でつなげてパラシュートに取り付け、卵を下のシェルターに入れて落下させた。

実験 4. 直径 15 cm のシェルターの上部に直径 21 cm のシェルターを傘代わりに反対向きに 4 本の 5 cm×1.5 cm の紙でつなげてパラシュートとして取り付け、シェルターには下部の頂点から 10 cm 上に地面と平行にシェルターに穴を開けて棒を設置し、卵を下のシェルターに入れて落下させた。

実験 5. ここでは、3.5 cm×3.5 cm×8.5 cm の直方体型の錘を利用して卵の耐性を調べた。

3. 結果

円錐型シェルターのみに入れた状態で落下させた場合、母線の長さにかかわらず円錐の先端部分がつぶれ衝撃を吸収しきる前に卵が地面

に接触してしまい、地面に触れた部分の全面にひびが入りエッグドロップは失敗した。また、シェルター上部に棒などの遮蔽物を配置していない状態では、落下途中に卵がシェルターから飛び出してしまい、衝撃から守ることはできなかった。シェルター内部の下から数センチメートルの部分に直径 5 cm の台を作った場合では、先端部分が衝撃を吸収することに成功し、母線の長さが 18 cm のものでエッグドロップを完了することに成功した。この方法は、衝撃吸収という観点からエッグドロップ成功を目指したものである。

次に、卵の上に錘をのせる実験で、卵がどれ位の力に耐えられるのかを調査した。その結果は以下の表の通りである。

表 1 卵の耐久力調査

回数	卵が割れた際の錘の質量(g)
1	1539
2	2063
3	3147
4	2561
平均	2327.5

以下の表 2 は各シェルターの形と、実験の様子をハイスピードカメラで撮影し、その映像から算出した地面に衝突する直前のシェルターの速度との関係である。

表 2 各シェルターの速度

シェルター	落下直前の速度(m/s)
実験 2	16.25
実験 3	3.56
実験 4	4.60

また、以下の図は各実験における卵の割れ方である。写っている箇所は最も卵の損傷が激しかったところである。



図 5 実験 2 の様子



図 6 実験 3 の様子



図 7 実験 4 の様子

4. 考察

実験 2 では卵全体にひびが入り、また落下開始時には(図 2)のように縦向きに卵を入れたにもかかわらず、卵が横向きに倒れ、側面に大きくひびが入っていることから、地面からの衝撃をシェルター下部のとげで受けきれいていないのではないかと考えられる。実験 3 では一点に集中してひびが入っていることから地面にぶつかってひびが入ったのではないかと考えられる。実験 4 では実験 3 のようなひびが見られないため地面には衝突していないが、全体的に小さなひびが見られるため地面からの衝撃がまだ残っているということが考えられる。実験 2 における落下速度が 16.25 m/s であったことに対して、実験 3 での落下速度が 3.56 m/s に減少したのは、シェルター上部に取り付けた傘型のパラシュートによって空気抵抗が増加したためだと考えられる。パラシュートを取り付けて落とす方法は、落下速度を落とすのに有効であるが、そのためには風などの影響を受けにくく、シェルターのとげ部分が地面に垂直に接地するという安定した落下が必要であると考えられる。実験 3 における落下速度が 3.56 m/s であったことに対して、実験 4 での落下速度が 4.6 m/s に増加したのは、姿勢を安定させるために加えた棒によって質量が増したからではないかと考えられる。また、この棒により地面に衝突時に卵がシェルターから飛び出ることを防ぐことができた。以上のような工夫を加えたが、卵が割れない台無しの構造を製作することはできなかった。

5. まとめと今後の課題

本実験の目的である台無しで卵を割れないようにする構造を作るという目的を果たすことはできなかったが、パラシュートにより速度を 4 分の 1 ほどに落とすことができた。また、パラシュートを加えることでとげを下向きに保たないまま落下する不安定さを、棒をつけ軽減することができた。実験を成功させるために今後考えられる工夫としては、棒を二つにしてより姿勢を安定させ、またシェルター

が落下したときにシェルターから卵が出ないようにすることやパラシュートとシェルター間の距離を縮めることがある。そのほかにパラシュートを二個つけることや、パラシュートの角度を広げることなどが考えられる。

6. 参考文献

- エッグドロップ甲子園実行委員, 2017, エッグドロップ甲子園,
<https://eggdropkoshien.org>, 2018.10.11
- 佐藤広基, 森正樹, 渡辺諒, 2014, 卵落下実験による衝撃吸収構造の研究,
<https://school.gifu-net.ed.jp/ena-hs/ssh/H26ssh/sc2/21421.pdf>, 2018.11.15
- JAXA クラブ, 2013, エッグドロップコンテストで勝負,
http://www.jaxaclub.jp/space_lab/04/, 2018.11.15

ドップラー効果の逆

～ Anti-Doppler Sound を用いたドップラー効果の相殺 ～

尾崎遼太郎 後藤拓都 酒井翔大 白倉崇生

要旨

本研究は、本来ドップラー効果が起きる状況下において、ドップラー効果が起きないようにすることが目的である。そこで我々はドップラー効果を相殺する音、すなわち Anti-Doppler Sound (以下 AD 音) を作成し、その音を用いて実験を行い、目的の達成を目指した。

1. はじめに

ドップラー効果は、波(本実験では音波)の発生源(本実験では音源)と媒質(本実験では大気)との相対的な速さ、観測者(本実験ではマイク)と媒質(本実験では大気)との相対的な速さの存在によって、周波数が異なって観測される現象であり、例えば救急車のサイレンに代表されるように日常生活においても何気なく発生している現象である。我々は、このドップラー効果に対して何らかの操作を行うことで、本来ならばドップラー効果が観測される状況下において、ドップラー効果を阻害することが可能なのではないかと考え、これを研究テーマとした。

まず我々は、ドップラー効果を数的に把握するため、一般的に「ドップラー効果の公式」として知られている式(以下「公式」)を用いて考察を行った(図 1,2)。その結果、音源が観測者のちょうど前を通過する瞬間(すなわち公式において符号が逆転する瞬間)に周波数が急激に変化するという結論を得た。ここで、「通過の瞬間に音源の周波数を変更することでドップラー効果を相殺する」という、本研究の基本的な方針が決まった。

次に、実験内容の大枠を決定した。

我々が行うべきと考えた実験は3段階に分かれている。すなわち、「台車の速度を把握する段階」(以下「第1段階」)、「ドップラー効果を観測する段階」(以下第2段階)、「AD音を観測する段階」

(以下第3段階)である。

まず第1段階であるが、我々がこれを第1段階としたのは、本研究で使用する主たる実験器具(「研究試料」にて詳述)の多くが製作したものであり、諸器具が正常に動作するかどうか、加えて正常に動作したとき台車の速度がどのように推移し、どの程度の速度であるかを調べる必要があったためである。第2段階は、一定の周波数を発する音源を走らせることで、ドップラー効果の観測を行った。ここで得られた結果は、本研究の基準として考察で利用した。第3段階は、AD音を発する音源を走らせ、周波数の推移を観測した。ここで得られた結果と第2段階で得た結果を比較することで、AD音がドップラー効果を相殺できたのか判断した。

$$f = \frac{V}{V - v_s} f_0$$

V : 音速(本研究では 340 m/s とした)

v_s : 音源の速度(ただし、音源から観測者への方向を正とする)

f_0 : 音源の出す周波数

f : 観測される周波数

図 1. 観測者が静止している場合の公式

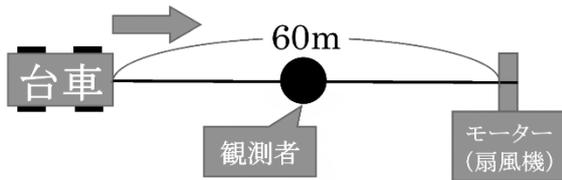


図 2. 分析段階で用いた図

2. 材料・研究方法

2-1. 研究試料

本実験で使用した研究試料及び実験器具は主に 8 つである(添付資料 1). すなわち, 台車, モーター, タコ糸, スタンド, AD 音, 集音マイク, パソコンである. 順に説明する.

まず台車であるが, ライトレースカーを活用して製作した. モーターは, 扇風機のモーター部分にペットボトルの上部を装着することで, タコ糸を巻き取れるようにした. そして, 台車とモーターをつなぐのがタコ糸である. また, モーター(特にペットボトル部分)の回転軸をより安定させるため, ペットボトルの口にスタンドで固定したリングを添えた.

AD 音は前述の通り“Anti-Doppler Sound”の略であり, 文字通りドップラー効果の相殺, すなわち観測される周波数が常に 1020 Hz となるように作成した音である. AD 音は, 周波数を時間単位で変化させる関数を, 公式を利用することで導き, その関数を Excel に入力することで作成した(図 4). パソコンは集音マイクを接続して周波数の観測および出力, 解析に使用した. なお, グラフによる出力および解析には“WaveSpectra”を使用した.

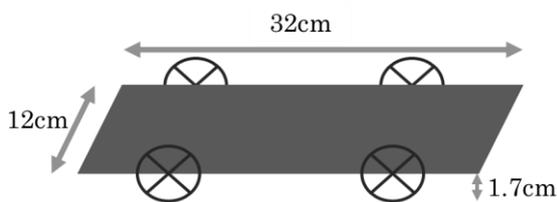


図 3. 台車のサイズ

$$y_s = A \sin 2\pi f(\hat{t}) \hat{t}$$

$$y_o \left(\hat{t} + \frac{\sqrt{d^2 + v_s^2 \times \hat{t}^2}}{V} \right) = A \sin 2\pi f \hat{t}$$

$$t = \hat{t} + \frac{\sqrt{d^2 + v_s^2 \times \hat{t}^2}}{V}$$

$$\hat{t} = \frac{V^2 \pm \sqrt{V^2 \cdot v_s^2 + (V^2 - v_s^2) \cdot \left(\frac{d}{S}\right)^2}}{V^2 - v_s^2} \cdot t$$

$$y_o(t) = A \sin 2\pi f(t) \frac{V^2 \pm \sqrt{V^2 \cdot v_s^2 + (V^2 - v_s^2) \cdot \left(\frac{d}{S}\right)^2}}{V^2 - v_s^2} \cdot t$$

$$f_c = f(t) \frac{V^2 \pm \sqrt{v^2 \times v_s^2 + (V^2 - v_s^2) \cdot \left(\frac{d}{S}\right)^2}}{V^2 - v_s^2}$$

として, f_c が一定となるよう $f(\hat{t})$ を定める.

$$f(t) = \frac{V^2 - v_s^2}{V^2 \pm \sqrt{V^2 \cdot v_s^2 + (V^2 - v_s^2) \cdot \left(\frac{d}{S}\right)^2}} \cdot f_c$$

$$f(\hat{t}) = \frac{V^2 - v_s^2}{V^2 \pm \sqrt{V^2 \cdot v_s^2 + (V^2 - v_s^2) \cdot \left(\frac{d}{\hat{t} + \sqrt{d^2 + v_s^2 \times \hat{t}^2}/V}\right)^2}}$$

y_s : 音源が発する音の式
 y_o : 観測される音の式
 d : 観測者とコースとの距離
 v_s : 台車の速度
 V : 音速(本研究では 340 m/s とした)
 t : 測定開始からの経過時間
 f : 振動数

図 4. AD 音を表す関数とその導出方法

2-2. 研究方法

2-2-1. 実験 1 (第 1 段階)

- ① 全長 60 m のコースを設け, スタート地点から 10 m, 20 m, 30 m, 40 m の各地点を計測地点として設定した.
- ② 音源(スマートフォン)を搭載した台車を走らせ, 各地点通過時の時間を計測した.
- ②を 5 回繰り返し, 得られたタイムの平均値をとつ

た後、グラフを作成した。

(注)この実験はあくまで速度の把握が目的であるため、音源からは一切音を出していない。

2-2-2. 実験 2 (第 2 段階)

- ①実験 1 と同様に 60m の直線コースを設けた。
- ②スタート地点から 30m, コースから 1m 離れた地点にパソコンを設置し、周波数測定地点とした(図 5)。
- ③音源が常に 1020 Hz の音を発するようにして台車に乗せ、周波数を測定した(1 回)。

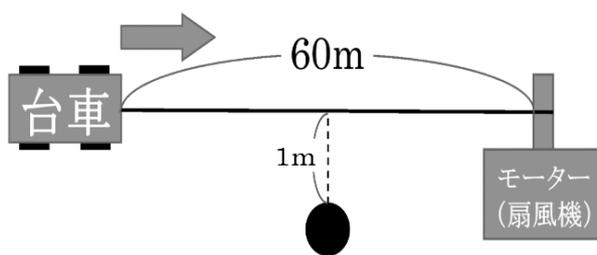


図 5.概略図

2-2-3. 実験 3 (第 3 段階)

- ①実験 2 と同様に直線コース, 及び観測地点を設けた。
- ②音源が AD 音を発するようにして台車に乗せ、周波数を測定した(1 回)。

2-2-4. 解析

- ①“WaveSpectra”を用いて収集した音波をフーリエ変換によって、周波数を抽出した。
- ②抽出した周波数から、グラフを作成した。

3. 結果

3-1. 実験 1 (第 1 段階)

表 1. 車の通過時間およびその平均

距離	測定1	測定2	測定3	測定4	測定5	平均
0 m	0.00 s					
10 m	2.61 s	2.74 s	2.78 s	2.33 s	2.41 s	2.57 s
20 m	4.59 s	4.68 s	4.71 s	4.16 s	4.28 s	4.48 s
30 m	6.12 s	6.16 s	6.17 s	5.65 s	5.56 s	5.93 s
40 m	7.88 s	7.68 s	7.74 s	7.03 s	6.88 s	7.44 s

表 2. 速度およびその平均

距離[m]	速度1[m/s]	速度2[m/s]	速度3[m/s]	速度4[m/s]	速度5[m/s]	平均[m/s]
0	0	0	0	0	0	0
10.0	3.83	3.65	3.60	4.29	4.15	3.89
20.0	4.36	4.27	4.25	4.81	4.67	4.46
30.0	4.90	4.87	4.86	5.31	5.40	5.06
40.0	5.08	5.21	5.17	5.69	5.81	5.37

表 1 は各測定地点における台車の通過時間, およびその平均を表したものであり, また表 2 はこのデータをもとに各地点における台車の速度, およびその平均を計算したものである. また, 表 1, 2 をそれぞれグラフ化したものとして, 図 7, 8 を挙げた. 以上の表より, 「台車の加速(モーターの加速)は一定ではないこと」、「10 m 以降はほぼ一定の速度変化をすること」、「30 m 地点通過時の速度はおおよそ 5 m/s であること」の 3 点が分かった.

なお、予備実験中に台車の車輪部分の破損が何度か起き、その都度全く同種のライトレースカーの車輪と交換した。そのため、車輪交換に起因する台車の性能変化(特に速度面に関して)が起きる可能性は著しく低いと考え、車輪交換を行ったタイミングは記録しなかった。

3-2. 実験 2・実験 3 (第 2 段階・第 3 段階)

図 9 は台車が 30m 地点に到達した時間を基準(すなわち 0)とし、到達 1.5 秒前(表中 -1.5)から 1.5 秒後(表中 1.5)までの 0.1 s 毎の周波数の変化をグラフ化したものである. なお表中では、実験 2 の結果を α , 実験 3 の結果を β とした.

このグラフより、AD 音の周波数は想定よりも小さいレベルで推移していたことが分かった。

4. 考察

4-1. 実験1 (第1段階)

前述のように、本研究で使用した実験器具の多くが製作したものであったが、結果を鑑みるに台車の速度は安定して推移しており、実験2, 3でも使用可能であると結論づけた。

4-2. 実験2・実験3 (第2段階・第3段階)

①区間:かなりの障害物を挟んでいたため、考慮しないこととする。

②区間: α 音の結果も β 音の結果も振動数が一定となっていたため、AD音により一定に保たれたと断定することはできない。

③区間: α 音の時は、計測点通過が近づくにつれて振動数が上がっているため、ドップラー効果らしき現象が見られるが、 β 音の場合は最後少し上がっているものの一定になっている時間が長いから、少し効果はあるように見える。しかし、②から継続している点と、1020Hzに達していないという点から、②の区間での効果の有無が曖昧なこともあり、実際的な効果の度合いは正確には分からない。

④区間: α 音も β 音もどちらも同じような波形となっており、AD音による効果はないといえる。

以上の点と、 β 音で一度も観測予定の1020Hzに達していない点を考えると、AD音がうまく機能していない可能性が高意図考えられる。原因については、AD音の作成ミスが考えられるが、しかし、観測地点前を通過した際の周波数は1020Hzになるように作っているため、それも観測できていないことから、他の外的要因が考えられる。

5. まとめと今後の課題

本研究では、「1020 Hzの周波数」を「一定に保つ」という、細分すれば2つの目標があったが、いずれの目標も達成することができなかった。そのため、今後はまず失敗の原因を分析し、実験内容の改善策を模索していきたいと考えている。

6. 参考文献

小野測器, 身近な計測—ドップラー効果,

<https://www.onosokki.co.jp>, 2018.5.17

啓林館, 第4節ドップラー効果,

http://www.keirinkan.com/kori/kori_physics/kori_physics_1_kaitei/contents/ph-1/4-bu/4-2-4.htm, 2018.5.17

Toda Kengo, 物理学解体新書,

<https://www.rs.kagu.tus.ac.jp/yamalab/2007/toda/Doppler.html>, 2018.5.17

ネオアーク株式会社, ドップラー効果とは,

<http://neoark.co.jp/galileo/g-vibration-meter/doppler-effect>, 2018.5.17

7. 添付資料

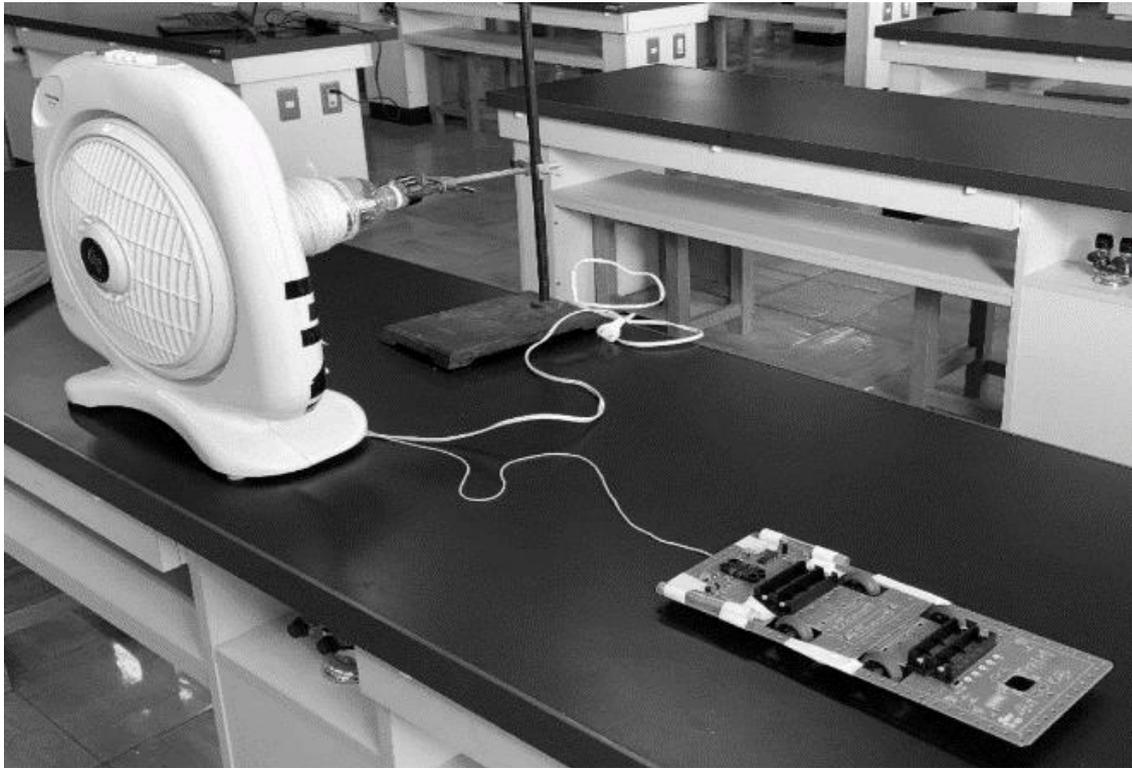


図 6. 本研究で使用した主な実験器具

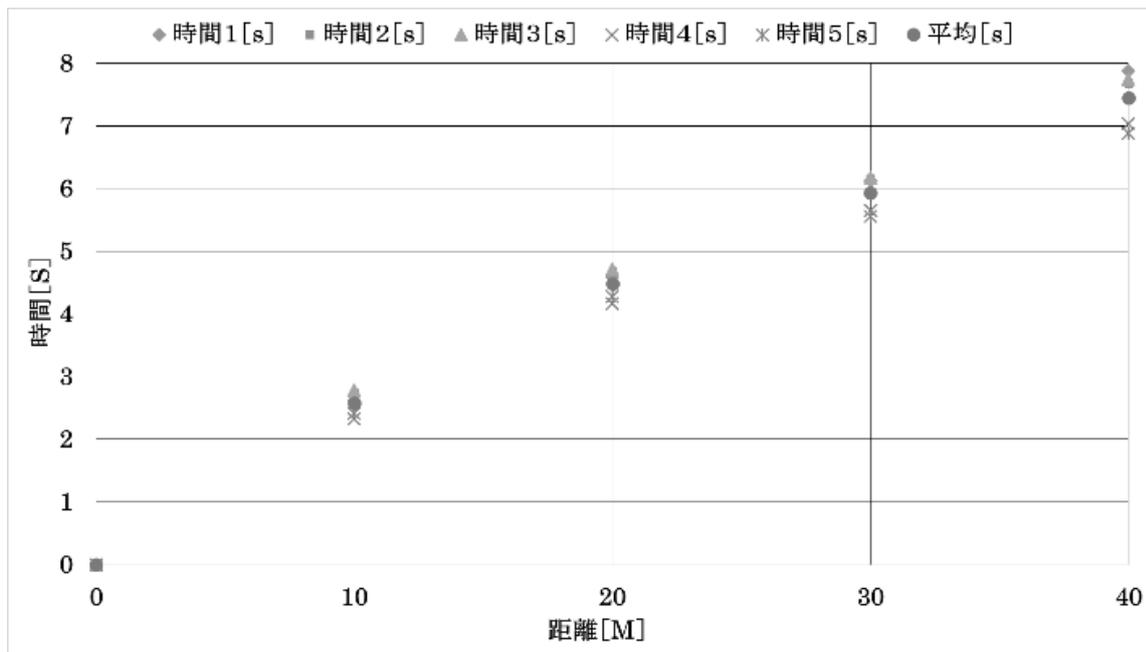


図 7. 通過時間の散布図

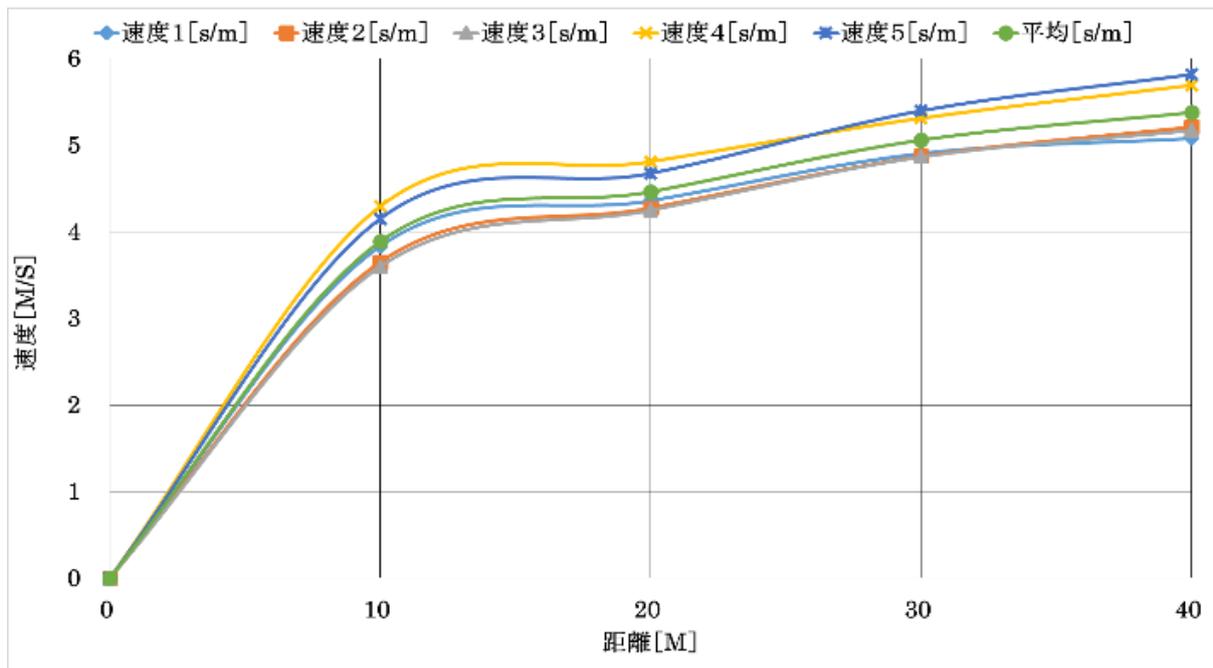


図 8. 速度の散布図

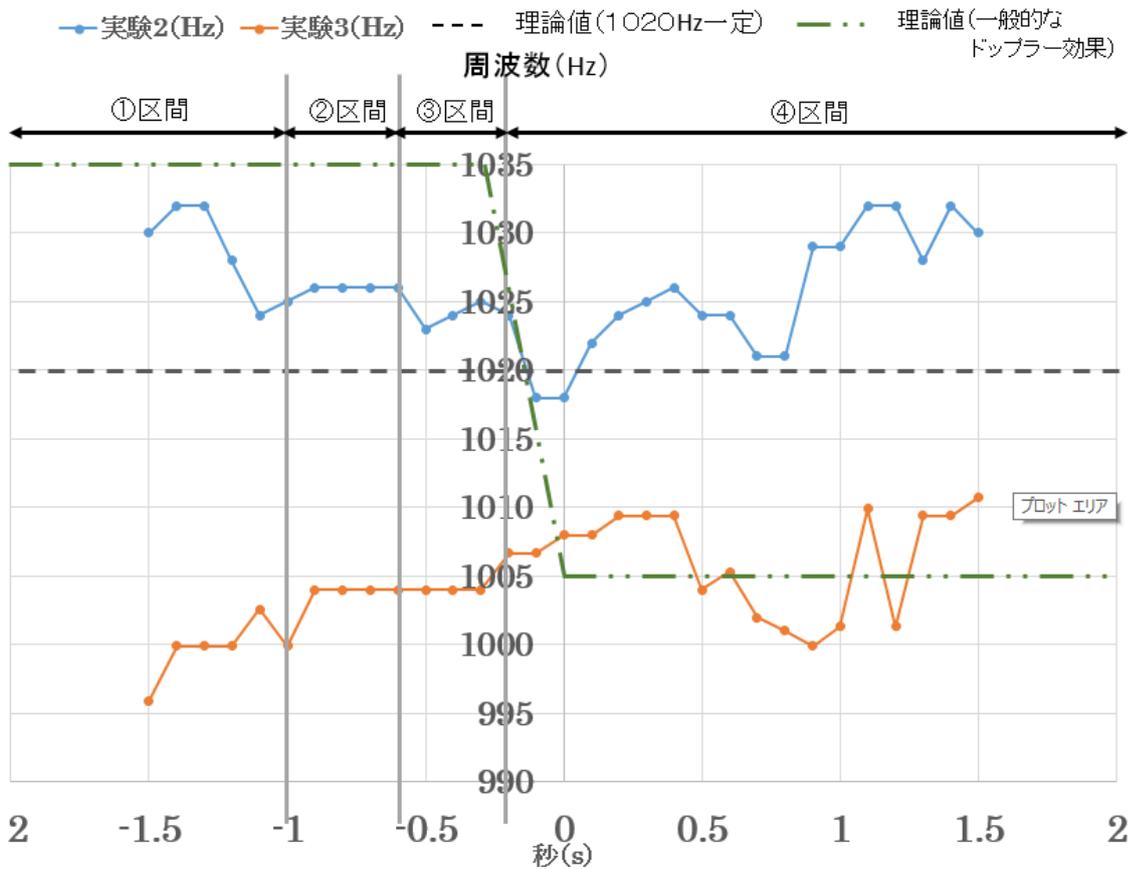


図 9. 0.1 s 毎の周波数の変化

粘土の銀イオン吸着

～ モンモリロナイトに対する金属イオン吸着率の測定 ～

川島悠香 竹田真実子 西田涼乃 吉田依未

要旨

本研究は、効率的なミネラル供給源としての粘土食料を完成させることを目的として行った。銀(I)イオンを含む水溶液にモンモリロナイトを加え、前後の濃度変化から金属イオンの吸着度合いを調べた。濃度変化は、塩化ナトリウム水溶液を用いた銀滴定で測定した。その結果、粘土鉱物に対する銀イオンの吸着率の変化を確認できた。

1. はじめに

モンモリロナイトは粘土鉱物の1種であり、層間に水を取り入れ著しく膨潤する性質を持つ。

1960年代、国際宇宙ステーション(ISS)では活動する宇宙飛行士にモンモリロナイトを含む食事を与えていた。宇宙飛行士のカルシウム不足を補う目的である。

1964年から1965年にかけて行われた研究によると、粘土を含む餌はラットの食餌性カルシウム源としての役割を果たすことが示されている(Ershoff & Bajwa, 1965)。

本研究では、より効率的なミネラル供給源としての粘土食料を完成させることを目的として、モンモリロナイトを加えた際の金属イオンを含む水溶液の濃度変化から粘土に対する金属イオン吸着率を調べる実験を行った。

事前に Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Fe^{3+} の3種について粘土に対する金属イオン吸着率の測定を行ったが、モンモリロナイトを洗浄していなかったため、吸光度計では正確な測定が出来なかった。またモンモリロナイトと水の混合溶液の上澄み液を総合地球環境学研究所のイオンクロマトグラフィー装置で分析していただいた結果から、未洗浄のモンモリロナイトに含まれている種々のイオンが水溶液中に流出していることがわかった。

そこで本実験では事前処理として、遠心分離を

用いてモンモリロナイトを洗浄した後、銀イオンを吸着させ、銀滴定によって銀イオン吸着の程度を求めた。

2. 材料・研究方法・結果

2-1. 研究試料

通常銀滴定に用いられる実験器具を使用したほか、モンモリロナイトは株式会社ナトゥリアルが販売するグリーンモンモリロナイトクレイ(フランス産、モンモリロナイト、イライト、カオリンを含む)を、遠心分離機は久保田商事株式会社製テーブルトップ遠心機 2420 を、濾過で用いたシリンジフィルターは Merck Millipore 社 (Millex-GV, 0.22 μm PVDF) のものを使用した。

2-2. 研究方法および結果

モンモリロナイトに純水を加え、4000回転×5分間遠心分離にかけ、上澄み液を取り除き、再度純水を加えて遠心分離機にかける作業を10回行った。

洗ったモンモリロナイトをA、B、C、D、Eの5つに分けた。

Aには純水、Bには 1.0×10^{-2} mol/Lの AgNO_3 水溶液、Cには 1.0×10^{-3} mol/Lの AgNO_3 水溶液を加えて混ぜ、遠心分離機にて分離させた上澄み液をシリンジフィルターに通した濾液を

10 倍希釈した。ただし、表 1 の AgNO_3 水溶液の濃度値は希釈前のものである。これらを 10mL ずつ取り、A は 1.8×10^{-3} mol/L、B は 1.8×10^{-5} mol/L と 1.8×10^{-6} mol/L、C は 1.8×10^{-3} mol/L と 1.8×10^{-5} mol/L の NaCl 水溶液での銀滴定を各濃度 3 回ずつ行った。

表 1 NaCl 水溶液, AgNO_3 水溶液の濃度値を変化させたときの白濁の程度(+は白濁がはっきりと見られたもの、-は白濁が視認出来なかったもの、±はわずかに白濁が確認できたものである。)

AgNO_3 [mol/L]	A	B	C
NaCl [mol/L]	純水	1.0×10^{-2}	1.0×10^{-3}
1.8×10^{-3}			±
1.8×10^{-5}	-	+	-
1.8×10^{-6}		-	

A の結果から、 Ag^+ がモンモリロナイトに元から含まれているとしても、実験結果には影響しないものとして良い。また、B で白濁が確認出来たことや、C では高濃度の NaCl 水溶液に対し僅かしか白濁が見られなかったことから、 Ag^+ の吸着は起こっているもののどこかに限界があると考え、精査するために以下の D と E の実験を行った。

ここでは沈殿管から上澄み液をできるだけ取り除いた後、D には 1.0×10^{-2} mol/L、E には 1.0×10^{-1} mol/L の AgNO_3 水溶液を加えて混ぜシリンジフィルターに通した濾液を 10 倍希釈した。ただし、表 2 の AgNO_3 水溶液の濃度値は希釈前のものである。これらを 10mL ずつ取り、NaCl 水溶液の濃度を D では 1.8 mol/L、 1.8×10^{-1} mol/L、 1.8×10^{-2} mol/L、 1.8×10^{-3} mol/L の 4 通り、E では 1.8×10^{-2} mol/L、 1.8×10^{-3} mol/L、 1.8×10^{-4} mol/L の 3 通りにしてそれぞれ 3 回ずつ滴定を行った。また、モンモリロナイトを通していない AgNO_3

水溶液に対しても滴定を行った。

表 2 NaCl 水溶液の濃度のみを変化させたときの沈殿の様子(+は白濁がはっきりと見られたもの、-は白濁が視認出来なかったもの、±はわずかに白濁が確認できたものである。また、表中の数値は滴定量[mL]を、①~③については回数を示している。)

AgNO_3 [mol/L]	D 1.0×10^{-2}		E 1.0×10^{-1}	
NaCl [mol/L]	モンモリロナイト		モンモリロナイト	
	無し	有り	無し	有り
1.8	+	-		
0.2 (一滴)		20.5		
1.8×10^{-1}	+	-		
0.09 (一滴)		8.23		
1.8×10^{-2}	+	-	+	+
0.17 (一滴)		3.09	0.24 (一滴)	①0.07 ②0.08 (一滴)
1.8×10^{-3}	+	-	+	+
1.39		3.50	0.65	①1.01 ②1.10 ③1.01
1.8×10^{-4}			+	+
			3.43	2.54

なお、D および E の沈殿の様子は添付資料 (p.53) に添付している。

3. 考察

D において「モンモリロナイト無し」では見られた白濁が「モンモリロナイト有り」では見られず、また、NaCl 水溶液の濃度が 1.8 mol/L という高濃度でも白濁が確認できなかったため、ほとんどの Ag^+ がモンモリロナイトに吸着されていることが確認できた。一方で、E では NaCl 水溶液が低濃度の場

合、モンモリロナイトの有無にかかわらず同程度の白濁が見られた。これは、元の AgNO_3 水溶液の濃度が濃すぎるため、吸着できた割合がかなり低くなっていることを示している。このことを D の結果と比較すると、 Ag^+ を加えた量に対し、モンモリロナイトへの吸着率を最大にできる AgNO_3 水溶液の濃度は $1.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$ 以上 $1.0 \times 10^{-1} \text{ mol/L}$ 未満の範囲に存在すると考えられる。

4. まとめと今後の課題

粘土鉱石の一つであるモンモリロナイトに対する銀イオンの吸着程度を測定した。その結果、モンモリロナイトは銀イオンを吸着したため、本実験の目的であったミネラルなど他種の陽イオンも吸着が可能といえる。

また、効率よく吸着させることのできる濃度の範囲を絞ることができた。しかし、現状この範囲はかなり広いものである。

今後、細かい調整や様々な条件の変更を行うことで、より詳細な結果を得られると考えられる。

5. 謝辞

総合地球環境学研究所のセンター研究員の藪崎志穂氏には、モンモリロナイトと水の混合溶液の濾過についてご助言を賜った上、モンモリロナイトと水の混合溶液の上澄み液の元素分析を行っていただいた。

6. 参考文献

- Ershoff & Bajwa, NASA, 2019, NASA Technical Reports Server,
<https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=19660023330>, 2019.1.7
- クニミネ工業株式会社, 2018, よくわかるクニミネ工業,
<https://www.kunimine.co.jp/bent/basi>, 2019.1.7
- 水守啓, 2019, 身体を浄化する驚異の粘土食,
<http://www.keimizumori.com/articles/c>

7. 添付資料



写真 1



写真 2



写真 3



写真 4

写真 1~4 は、それぞれ $1.8 \times 10^{-3} \sim 1.8 \text{ mol/L}$ の NaCl 水溶液で $1.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ の AgNO_3 水溶

液を滴定したものである。(左:モンモリロナイト有り, 右:モンモリロナイト無し)



写真 5



写真 6



写真 7

写真 5 は NaCl 水溶液 $1.8 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$ (左から純水, モンモリロナイト無し, モンモリロナイト有り×3)

写真 6 は NaCl 水溶液 $1.8 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ (ビーカーの配置は写真 5 と同じ)

写真 7 は NaCl 水溶液 $1.8 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$

クロロフィルにおける蛍光条件の研究

市川亮大 土橋拓馬 平尾早耶 村上凜

要旨

本研究では、紫外線を照射すると光る紙の作製を目的として、クロロフィルが蛍光する状況を実験により調べた。実験では溶媒にジエチルエーテル、サラダ油、アセトン、純水を用いてコマツナ、ホウレンソウ、ワカメからクロロフィルを抽出し、その濾液を含ませた濾紙にブラックライトを照射した。実験により、有機溶媒中でのみクロロフィルは強い蛍光を発することが明らかとなった。

1. はじめに

紫外線を照射すると蛍光する物質があることを知り、予備実験において紫外線に波長が近い、ブラックライトを照射して身の回りにあるものを光らせた。その中でコマツナはそのままの状態でごくわずかに赤く光り、有機溶媒での抽出液は更に赤く光った。名古屋市科学館の佐伯平二によれば、光る原因はクロロフィルであることが明らかとなっている。植物の葉緑体の中に存在するクロロフィルは光合成に必要な光を吸収すると、電子励起される。このとき、クロロフィル中では電子が基底状態に戻る過程でエネルギーを放出し、通常、その放出したエネルギーを隣接したクロロフィル分子に渡していく。このようなエネルギーの流れをすることで、植物は光合成を行う。しかし、流れが途絶え、光合成に使用することができなかったエネルギーは赤い光として放出される。この赤い蛍光は、肉眼で見ることができる(図 1)。

今回、比較的身近にあり、手に入れやすいクロロフィルがこのような仕組みで赤く蛍光することが分かり、それを応用することで、市販の紫外線チェッカーのような紫外線を照射することで変化が表れるような紙を作製することができるのではないかと考えた。そこで、本研究では、クロロフィルを含み、ブラックライトを照射することで赤く蛍光する濾紙を作製することを目指した。

そこで主に二つの実験を行った。この実験では、予備実験で赤く蛍光することが確認できたコマツナ・ホウレンソウと、更に構造が異なるクロロフィルも含むワカメを用いた。植物には基本的に 3:1 の割合でクロロフィル a とクロロフィル b が含まれている。それに対し、ワカメなどにはクロロフィル a だけでなくクロロフィル c が含まれる。クロロフィル a とクロロフィル c の構造式はそれぞれ図 2, 図 3 に示す。図 2 のフィトール鎖は疎水基であるため、コマツナ・ホウレンソウのクロロフィル a は水には溶解しない。しかし、図 3 のクロロフィル c はフィトール鎖がないため、ワカメのクロロフィル c は比較的水に溶解する。そのため、クロロフィル a に加えてクロロフィル c も含んでいるワカメを本実験の試料に追加した。

一つ目の実験では、抽出したクロロフィルを含ませた濾紙がブラックライトで赤く蛍光するかどうかを調べた。濾紙は赤く蛍光し、そして、ブラックライトを照射し続けるとクロロフィルが分解されるため、蛍光が弱まっていくと考え、実験を行った。しかし、予想した結果は得られず、有機溶媒が揮発し、乾燥すると蛍光を発しなくなった。その原因を探るため、二つ目の実験を行った。

日本植物生理学会によると、クロロフィルを有機溶媒で抽出すると、クロロフィルの環構造内に取り込まれていたマグネシウムイオンが溶媒中に外れる。そこで、平衡を利用してマグネシウムイオンが

クロロフィルから外れにくい状態をつくり、一つ目の実験と同様の操作を行った。仮説として、マグネシウムイオンを持ったままのクロロフィルがより多く残ることで、濾紙が乾燥した後も蛍光すると考えた。

2. 材料・研究方法

2-1. 研究試料 1

本実験では、クロロフィルの抽出にコマツナ、ホウレンソウ、ワカメを用いた。コマツナ、ホウレンソウは生のもの、ワカメは乾燥されたものを使用した。

2-2. 研究方法 1

コマツナ・ホウレンソウについて、それぞれ以下の操作を行い、試料を調整した。

①葉を細かくちぎり、シリカゲルを加えて砕きながらすり鉢・すり棒ですりつぶして粉末状にした。

②①を2つずつに分けた。ジエチルエーテルを加えたもの、サラダ油を加えたものの2種類を作製し、濾過した。本実験ではジエチルエーテル、サラダ油どちらも 8 mL 使用した。

③1/4 サイズに切った濾紙を②の濾液に浸した後、取り出す。これを試料とする。

④乾燥させる過程でブラックライトを照射し、蛍光を調べた。

2-3. 研究方法 2

ワカメについて以下の操作を行い、試料を作製した。

①ミキサーを用いて粉末状にした。

②①に純水を加えたもの、アセトンを加えたものの2種類を作製し、濾過した。

③1/4 サイズに切った濾紙を②の濾液に浸した後、取り出す。これを試料とする。

④乾燥させる過程でブラックライトを照射し、蛍光を調べた。

純水についてはワカメ 2 g 水 30 g で実験を行い、アセトンについてはワカメ 1 g アセトン 7 mL、またはワカメ 2 g アセトン 7 mL で行った。

3. 結果 1

研究方法 1, 2 について、結果を以下に示す。

コマツナとホウレンソウについて、それぞれほぼ同様の結果が得られ、それは以下の通りである。ジエチルエーテル、サラダ油のどちらの溶媒においても試料は赤く蛍光した(図 4)。その後、溶媒が揮発し、乾燥するにつれ蛍光が弱まり、完全に乾燥すると蛍光しなくなった(図 5)。再び溶媒を含ませ、ブラックライトを照射すると、最初に照射したときと同様、赤く蛍光した。その後再び乾燥するとまた蛍光しなくなった。しかし、このとき乾燥した後も濾紙表面の端の部分に、非常に小さな点であったが、ブラックライトを照射すると赤く蛍光する部分が残った。そこで、更に濾紙を切断し、断面についても調べてみたが、蛍光はなかった。また、サラダ油は実験時間中に乾燥させることができなかったため、乾燥後に蛍光するかどうかは調べられなかった。

ワカメについて、以下のような結果が得られた。

溶媒に純水を用いた場合は蛍光しなかった。アセトンを用いた場合は、赤く蛍光したが、乾燥すると蛍光しなくなった。ワカメの量を変えて 2 g と 1 g の試料を調整して実験を行ったが、両者に蛍光の違いは見られなかった。しかし、ワカメを 2 g 用いた方は蛍光しなくなるまでの時間が比較的長かった。また、ワカメ自体にブラックライトを照射してみると、ワカメの表面部よりも内部が蛍光していた。

以上の結果は以下の表 1 の通りである。

表 1. 研究方法 1, 2 の結果

	コマツナ	ホウレン ソウ	ワカメ
ジエチル エーテル	+→-	+→-	/
サラダ油	+	+	/
アセトン	/	/	+→-
純水	/	/	-

+・・・蛍光した →・・・乾燥後の変化
-・・・蛍光しなかった

4. 材料・研究方法 3

4-1. 研究試料 3

酸化マグネシウムの粉末少量に純水、酢酸を加えて溶かした。これを A 液 (pH2~3) とし、A 液に水酸化ナトリウムを加えて中和したものを A' 液 (pH6~7) とした。

粉末状にしたワカメと、アセトンを用意した。

4-2. 研究方法 3

①ワカメ 1 g, A 液 6 mL, アセトン 9 mL を加え、濾過した。

②ワカメ 1 g, アセトン 9 mL を加え濾過したものに酢酸を加えた。

③ワカメ 1 g, A' 液 6 mL, アセトン 9 mL を加え、濾過した。

④ワカメ 1 g, 純水 6 mL, アセトン 9 mL を加え、濾過した。

①から④の濾液に 1/4 サイズに切った濾紙をひたし、ブラックライトを照射して蛍光を確かめた。さらにそれぞれの pH も測定した。

この①から④の液を図 6 に示す。

5. 結果 2

研究方法 3 について、結果を以下に示す。

①から④のすべてについて、浸した濾紙は赤く蛍光した。濾液の色や pH に差は見られたが、結

果として差はあまり見られなかった。

以上の結果は以下の表 2 の通りである。

表 2. 研究方法 3 の結果

	pH	Mg+	濾液の色 ※1	赤い光 ※2
①	5	+	黄色	+
②	/	-	黄緑	+
③	6~7	+	緑	+
④	7	-	黄緑	+

※1 緑の濃さ ③>④>②>①

※2 赤色の濃さ ③≒④>②>①

+・・・蛍光した -・・・蛍光しなかった

6. 考察

6-1. 考察 1

研究方法 1, 2 の結果について以下のように考察した。

有機溶媒中でクロロフィルの強い蛍光が見られ、完全に乾燥した後にも、再び溶媒を加えることにより、最初に照射したときと同様に赤く蛍光した。このことから以下のように考えた。

クロロフィルは有機溶媒中に単量体で存在するため、吸収した光エネルギーを他のクロロフィル分子に伝達できなくなり、赤い蛍光を発する。アセトンが揮発して失われると、クロロフィル分子が会合して再びエネルギーの伝達が可能となり、赤い蛍光が観測できなくなる。日本植物生理学会の佐藤公行によると、会合すると蛍光が見られなくなる理由として、蛍光を発する度合い (蛍光の収率) が減る、蛍光の寿命が速くなる、蛍光の波長 (色) が変化するなど、様々な場合を考えることができる。また、再び有機溶媒に浸すと蛍光するようになったことから、クロロフィル分子自体は変形していない。

また、濾紙の端のみ光る部分が残ったことについて、毛細管現象を原因の一つとして予想した。

濾紙の内部が蛍光する状態にあるのではないかと考え、切断した断面を調べたが、蛍光は見られなかった。ほかの要因として、その部分における乾燥速度などが考えられる。

ワカメに含まれるクロロフィル c について、純水を用いた場合に蛍光が見られなかった。原因として、クロロフィル c が純水中には抽出されなかったため、または強い蛍光を観察できるのは有機溶媒中のみであるため、の 2 点が考えられる。

6-2. 考察 2

研究方法 3 の結果について以下のように考察した。

結果 2 の①, ②より, A を加えた場合と加えなかった場合で結果に違いが見られなかったため、酸性の状態では蛍光にマグネシウムイオンは関係していなかった可能性が高いと考えられる。

③, ④より, 中性の状態では蛍光にマグネシウムイオンは関係していなかった可能性が高いと考えられる。

①, ③より, 濾液の色は pH によって変化したと考えられる。

7. まとめと今後の課題

クロロフィルは有機溶媒中に抽出することができ、濾液や濾液に浸した濾紙にブラックライトを照射すると赤く蛍光する。しかし、濾液に浸した濾紙は、有機溶媒が揮発すると光らなくなる。その原因は、クロロフィルからマグネシウムイオンが外れるからではなかった。有機溶媒中でクロロフィル分子間のエネルギー伝達が阻害され、蛍光を発生しやすい状態になっているのではないかと考えられた。

今後の課題は、有機溶媒が揮発すると、クロロフィルが蛍光しなくなる原因を突き止めることである。本研究を簡易のブラックライトからより純粋な紫外線にも応用できれば、紫外線チェッカーのような利用が可能だと考える。

8. 参考文献

JSPP サイエンスアドバイザー 佐藤公行, 2015.8.20, 日本植物生理学会 クロロフィルの変性について,

https://jspp.org/hiroba/q_and_a/detail.html?id=3329, 2019.1.10

JSPP サイエンスアドバイザー 佐藤公行, 2019.1.12, 日本植物生理学会 クロロフィルとアセトンの関係について,

https://jspp.org/hiroba/q_and_a/detail.html?id=4332, 2019.1.17

実験監修:名古屋市科学館学芸員 佐伯平二

※監修者の役職は掲載当時のもの, 企画制作:日本ガイシ株式会社, NGK サイエンスサイト 緑の野菜がワインカラーに,

<https://site.ngk.co.jp/lab/no126/>, 2019.1.10

代谷沢, 片岡慶子, 勝本みどり, 1972.11. ほうれん草の調理科学的研究,

http://repo.kyoto-wu.ac.jp/dspace/bitstream/11173/1227/1/0100_027_004.pdf, 2019.1.31

光合成色素からみる海藻の生態, <https://www.jst.go.jp/cpse/jissen/pdf/houkoku/SG150069-A-16010.pdf>, 2019.1.31

9. 添付資料

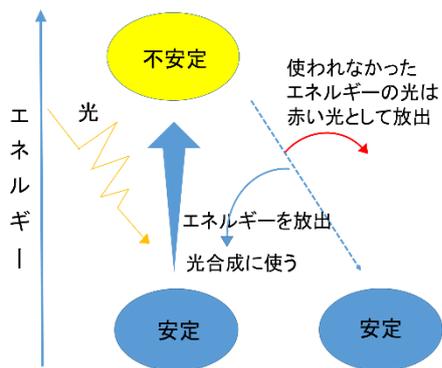


図1. クロロフィルのエネルギー変化

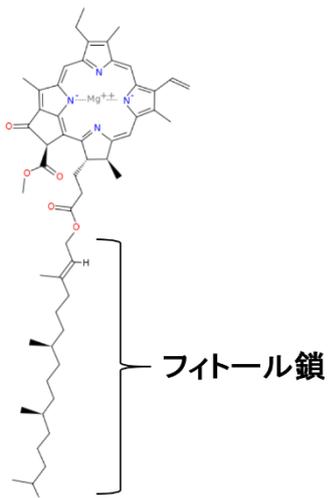


図2. クロロフィル a

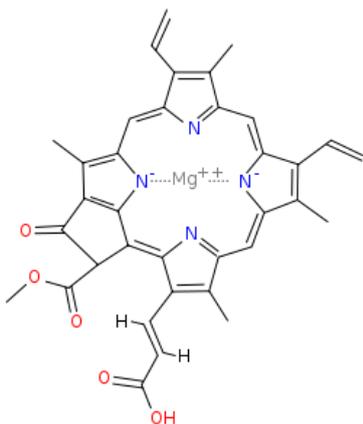


図3. クロロフィル c

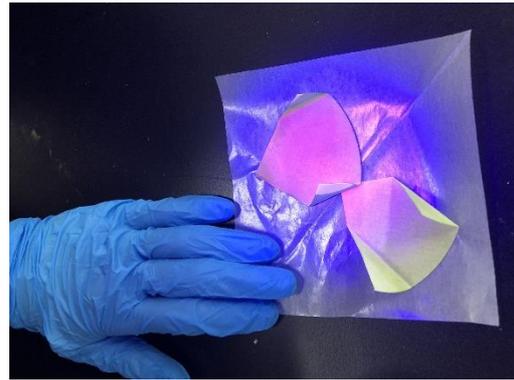


図4. コマツナ・ホウレンソウの抽出液を染み込ませた濾紙 (乾燥前)

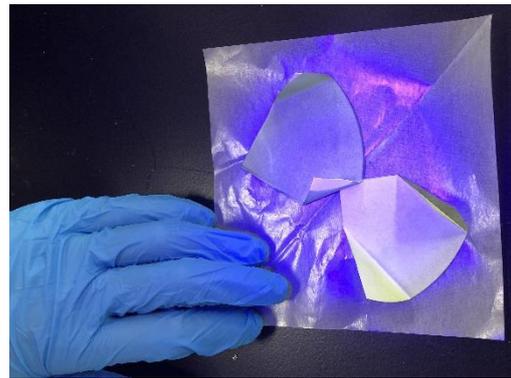


図5. コマツナ・ホウレンソウの抽出液を染み込ませた濾紙 (乾燥後)

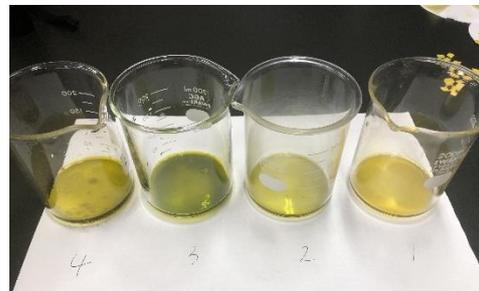


図6. マグネシウムイオンの平衡状態・pHを調整したワカメの溶液①から④

ゼブラフィッシュから見える世界

飯田朋華 片岡礼 川口よしの

要旨

ゼブラフィッシュの色覚について調べるために、ゼブラフィッシュの成魚に対して、エサによる報酬や電気ショックによる罰を色の識別と関連付ける行動実験を行った。その結果、ゼブラフィッシュは赤色と青色が識別できるうえ、ピンクや紫も赤と識別できることが分かった。

1. はじめに

色覚とは、光の波長の違いを識別する感覚である。色覚が優れているとは、より多くの色を識別できるということである。感じる波長域の異なる光センサーを眼の中に何種類持っているか、そしてそれらの感受波長域の重なるの程度がどれくらいかで色覚は大体決まる。色覚用の光センサー(錐体オプシン)はヒトの場合3種類で、それぞれいわゆる赤の領域、緑の領域、青の領域の波長を分担している。ヒトの見ることのできる色の数は実はかなりの制約を受けている(河村, 2009)。ゼブラフィッシュ *Danio rerio* は4種類の視物質(赤, 青, 緑, 紫外線)を持つと分かっている。さらに細かく分類すると、緑タイプオプシン RH2の中には4つのサブタイプが存在し、赤-緑タイプオプシン M/LWS は2つのサブタイプが存在するため、8種類の視物質を持っている(河村, 2012)。このように、視物質の種類がゼブラフィッシュではヒトより多いので、ヒトと同等以上の色覚をゼブラフィッシュは持つのではないかと考えられる。

このことを前提として、本研究ではゼブラフィッシュの色の識別の能力がどれくらいあるかについて調べた。

2. 研究試料

本研究で用いたゼブラフィッシュ(図1)は、もともと学校で飼育していたものと、新たに購入したもの、計20匹を使用した。メスとオスが混在しており、そ

れらを区別することは難しかった。オスとメスで色覚には違いがあるかもしれないが、そのため本研究では、メスとオスの割合は調整しなかった。飼育方法は、24.5×16.5×16 cm の水槽を2つ用意し、それぞれにゼブラフィッシュ10匹とフィルターを1つずつ入れた。エサはフレーク状のものを使用した。



図1. ゼブラフィッシュの飼育の様子

3. 実験1

3-1. 研究方法

ゼブラフィッシュは色を識別できるのか、また色を学習する能力があるかどうかを調べた。ここでは、赤と青を認識、区別させた。赤と青は色を数値化するために Color Picker(yuki tanabe)というアプリケーションを使用した。

赤では、水槽の側面の1つに赤(赤 255, 青0, 緑0)を表示した iPad を設置した。赤を表示した iPad を置いた側面から7cmのところ、エサが流れないようにガラス製のしきりを入れ、iPadの画面に赤色が表示されている間にエサを与えた。エサ

は平日の朝と昼に与えた。青では、赤と同様に水槽の側面の1つに青(赤0, 青 255, 緑0)を表示した iPad を設置した。赤の時と同様にしきりを用いた。青の iPad を設置した側に直流電源装置に繋いだ炭素棒を入れ、10 ボルトで5秒間電流を流した。条件を揃えるために、赤の実験でも炭素棒を入れた。ただし、電流は流さなかった。

以上の実験を約6週間反復して行ったのち、ゼブラフィッシュがどの程度赤と青を区別できるかを調べるために次のように測定を行った。水槽の側面の1つに赤を表示した iPad を置き、5秒表示した。赤を表示してから1秒後、3秒後、5秒後、に赤を表示した側面から7cm以内(範囲A)にいるゼブラフィッシュの数を計数した。青の場合も同様に実験を行った。

3-2. 結果

赤と青をそれぞれ3回ずつ2つの水槽で測定し、水槽ごとに平均値を算出した。結果を図2と図3に示した。

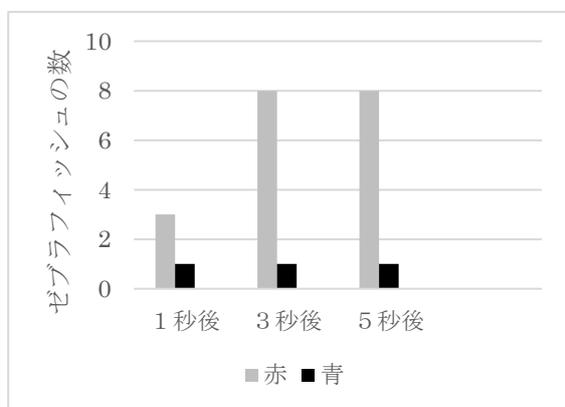


図2. 水槽①におけるゼブラフィッシュの赤と青の認識実験の結果

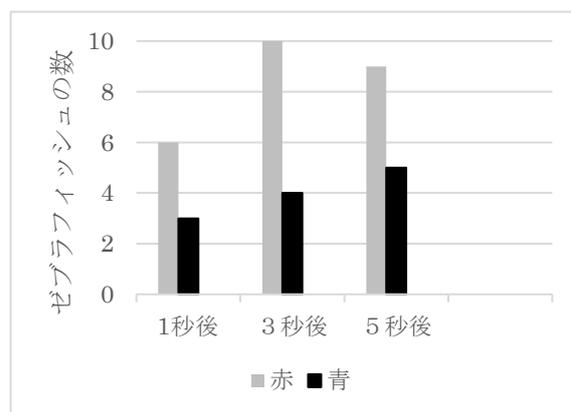


図3. 水槽②におけるゼブラフィッシュの赤と青の認識実験の結果

実験時に見られたゼブラフィッシュの様子として、水槽①②ともに共通して、iPad の画面に赤を表示したときは iPad に近寄っていき、青を表示したときは iPad から遠ざかろうとする傾向が見られた。また、赤を表示したときは、1秒後よりも3秒後、5秒後の方が iPad に近寄っていくゼブラフィッシュの数が多かった、

3-3. 考察

水槽①(図1)、水槽②(図2)の結果から、ゼブラフィッシュは赤と青を区別していることが分かった。また、赤に寄るとエサがもらえ、青に寄ると電気ショックが与えられると認識していると考えられる。特に、赤を表示した直後よりも、3秒後や5秒後の方が iPad に近寄っていくゼブラフィッシュの数が多かったため、ゼブラフィッシュは赤をはっきり認識していると考えられる。

実験1の結果から、ゼブラフィッシュは赤と青を区別できると分かったため、次に、表示する色を赤から青に徐々に近づけ、どの段階でゼブラフィッシュが赤または青と判断しなくなるのか調べた。

4. 実験2

4-1. 研究方法

実験1のときと同様に、赤(赤 255, 青0, 緑0)で1日2回エサを与え、青(赤0, 青 255, 緑0)で1週間に1回電気ショックを与え続けた。表示する赤を青に近づけるために、ピンク(赤 255, 青 255, 緑0)と紫(赤 128, 青 255, 緑0)を用意した。実験1と同じように、ピンクを表示した iPad を水槽の側面に置き、側面から7cm 以内にいるゼブラフィッシュの数を測定した。また、紫でも同様に測定した。

水槽内に発生した原因不明の病気により、水槽②のゼブラフィッシュの大半が死んでしまったため、ここからの実験は水槽①のみで行った。

4-2. 結果

ピンクと紫をそれぞれ1回ずつ測定し、グラフ化した。結果を図4に示した。

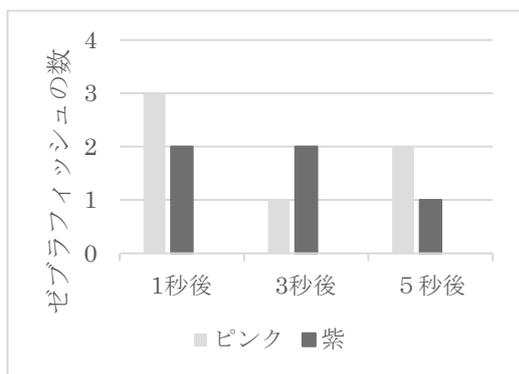


図4. 水槽①におけるゼブラフィッシュのピンクと紫の認識実験の結果

実験時に見られたゼブラフィッシュの様子として、iPad の画面に紫を表示したときに、iPad から遠ざかろうとする傾向がピンクを表示したときよりも強く見られた。

4-3. 考察

図4からピンクや紫を赤と区別していることが分かった。また、測定時のゼブラフィッシュの様子から、紫は青に近い色だとゼブラフィッシュは認識していると考えられる。そして、ピンクと紫の結果に差がみられるため、ピンクと紫も異なる色で、ピンクは赤により近い、あ

るいは青により遠い色であると認識していたと考えられる。

5. まとめと今後の課題

実験1と実験2から、ゼブラフィッシュは少なくとも人間と同じ程度に色を識別できるらしいことが分かった。また、赤と青という原色に近い波長の光が識別できるだけでなく、ピンクや紫といった色も赤と弁別できると分かった。また、赤が表示されるとエサがもらえ、青が表示されると電気ショックが与えられるとゼブラフィッシュは認識しているという学習能力も確認することができた。

ゼブラフィッシュは特に緑オプシンを多く持っているため(河村, 2009)、緑色を用いて同様の実験を進めることができれば、より細かな色の差に対する反応を調べられると考えられる。また、ゼブラフィッシュの持つ視物質はメダカ *Oryzias sp.* と比べて青オプシンが1種類少なく、緑オプシンが1種類多いため、メダカとゼブラフィッシュに青色と緑色を区別させ、認識度に違いが出るのかを調べるなどの展開も面白そうだ。

6. 謝辞

京都大学情報学研究科生体情報処理分野の前川真吾先生には実験の開始にあたり、ゼブラフィッシュの飼育方法やハンドリングの方法などについて、様々なアドバイスをいただきました。

7. 参考文献

- 河村正二, 2012, 視覚センサー遺伝子の適応と進化多様性 魚類から霊長類まで. 化学と生物, 50, 5, 325-336
- 河村正二, 2009, 錐体オプシン遺伝子と色覚の進化多様性: 魚類と霊長類に注目して. 比較生理生化学, 26, 3, 110-116

環境にやさしい洗剤づくり

～ サポニンを多く含む植物を用いて ～

岩井温子 内田冴香 梅谷結佳 前田悠花

要旨

本研究では、植物由来の環境にやさしい洗剤の効果と、一般的な洗剤と比較した洗浄力の強弱を調べるため、界面活性作用を示す配糖体であるサポニンを多量に含む植物を用いて抽出液を作成し、汚染布を洗浄した。その結果、ダイズとニンジンを組み合わせて作製した洗浄液が最も洗浄効果が高かったが、標準洗剤より洗浄力がある洗浄液はなく実用化は難しいと結論づけた。特に、事前調査から洗浄効果が高いと予想していたサイカチ(図2)の抽出液を含む洗浄液は再汚染の影響が大きく、洗剤としての利用はかなり厳しいと考えた。

1. はじめに

日本では明治以後の急速な産業革命や昭和30年代から始まった高度経済成長において、工業化及び都市化が進行したことに伴い、大都市を中心に水質汚濁が問題となった。近年では様々な対策が取られるようになったがまだ十分ではない。そこで我々は水質汚濁原因の一つである洗剤に焦点を当てた。天然由来の洗剤はすでに市販されているが、植物由来の環境にやさしい洗剤を作成しその効果を調べて市販の一般的な洗剤と比較することで、よりよい天然洗剤を作るヒントになるのではないかと考え研究を進めた。

個体差はあるが、多くの植物には洗浄作用を持つサポニン(図1)が含まれており、サイカチや大豆、枝豆、ゴボウ、ニンジンなどには特に多く含まれていることが分かっている。

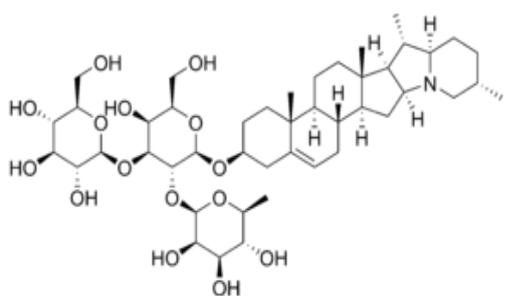


図1. サポニンの一つであるソラニン

図1のようにサポニンは分子内に親水基と疎水基を持つため界面活性作用を示す。

そこで予備実験として、大豆を一日水に浸けて取り出した抽出液で、醤油、朱肉、墨汁などで汚した布をもみ洗いしたところ、確かに洗浄効果がみられた。

予備実験の結果を受けて我々は、汚れの種類や洗浄方法を改善した上で大豆以外の植物でも同様の実験を行い、その効果について調べることにした。

2. 材料・研究方法

2-1. 洗浄実験①

2-1-1. 実験の材料

私たちは、洗浄液として平安時代から洗剤として使用されていたサイカチに加え、サポニンを多く含む乾燥大豆(ダイズ)、枝豆(ダイズ)、ニンジン、ゴボウを使用した。サイカチは、本校副校長である遠山先生にご提供頂いた。また、対照実験として合成洗剤(アリエールイオンパワージェルサイエンスプラス、以下洗剤と表記する)を使用した。さらに、布に付ける汚れとして、トマトピューレ、醤油、墨汁、朱肉を用いた。

洗浄対象として綿100%、7×7cmの木綿布を汚し

て用いた。

2-1-2. 研究方法

2-1-2-1. 抽出液の作成

①ニンジン、ゴボウを 1 cm角に切り、枝豆は実を鞘から取り出し、サイカチはさやを 2.5 cmに切った。

②ニンジン、ゴボウ、大豆、枝豆をそれぞれ 100 g、サイカチ 10 gを量り取り、ビーカーに純水 200 ml とともに入れた。

③一晩つけた。

2-1-2-2. 汚染布の作成

・シャーレにとった墨汁に、布を浸した。

・トマトピューレを茶こしでこし、液体のみをシャーレに入れて布を浸した。

・シャーレに入れた醤油に、布を浸した。

・布を朱肉に押し当てて、布全体が赤く染まるようにした。

・すべて広げた新聞紙の上に並べて乾かした。

2-1-2-3. 洗浄方法

50 mlコニカルチューブに抽出液 30 mlと汚染布を入れ、約 25 cmストロークで 50 回振って洗浄した。

2-2. 洗浄実験②

2-2-1. 実験の材料

洗浄液として洗浄実験①で洗浄力が期待できる乾燥大豆、ニンジン、サイカチ、そして標準洗剤を使用した。また、布を汚す材料として、トマトピューレ、朱肉、インスタントコーヒー、オレイン酸とエタノールから作成した皮脂汚れを用いた。

2-2-2. 実験方法

2-2-2-1. 抽出液の作成

①ニンジンを 1 cm角に切り、大豆は水につけて戻し、半分に切り、サイカチは 1 cmに切った。

②それぞれ 150 g 量り取り、ビーカーにぬるま湯 (40℃)800 ml とともに入れた。

③一晩つけた。

2-2-2-2. 汚染布の作成 (図3)

・トマトピューレを茶こしでこし、液体のみをシャー

レに入れ、布を浸した。

・布に朱肉を押し当てて、布全体が赤く染まるようにした。

・インスタントコーヒーをお湯 150 ccに葉ざじ山盛り 5 杯入れて溶かし、布を浸した。

・オレイン酸 15 ml, エタノール 15 mlを混合し、油性インク(青)を浸して着色した。

2-2-2-3. 洗浄方法

一人の人が目隠しをした状態で布の両端をつかみ、20 回もみ洗いしたら一度抽出液につけてつかむ辺を 45 度回して変え、20 回もみ洗いをし、再度抽出液につける、というのを 4 回繰り返した。三種の抽出液をそれぞれ組み合わせさせた洗浄液と、洗剤、純水の 9 通りで洗浄した。

3. 結果 (図4)

結果の数値化には色彩色差 CR-400/410(図5)を、データの分析には L*a*b*色空間(図6)と呼ばれる表色系を用いた。

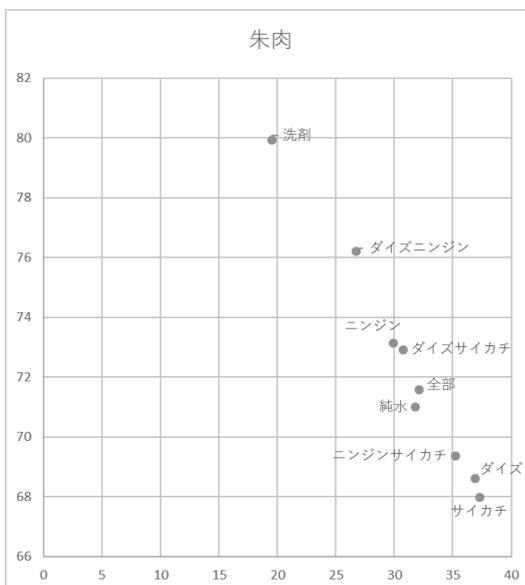
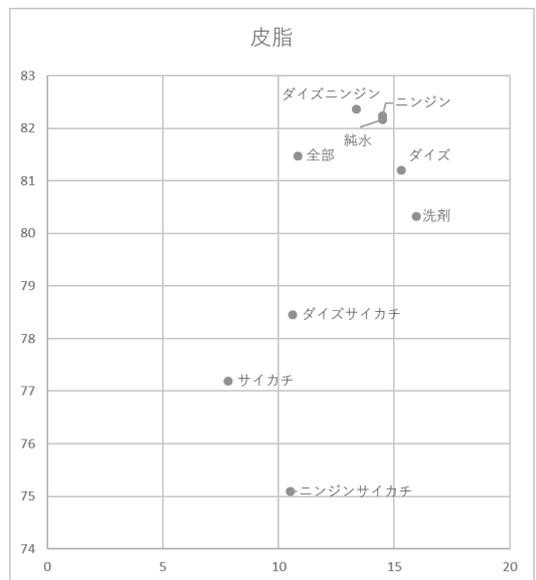
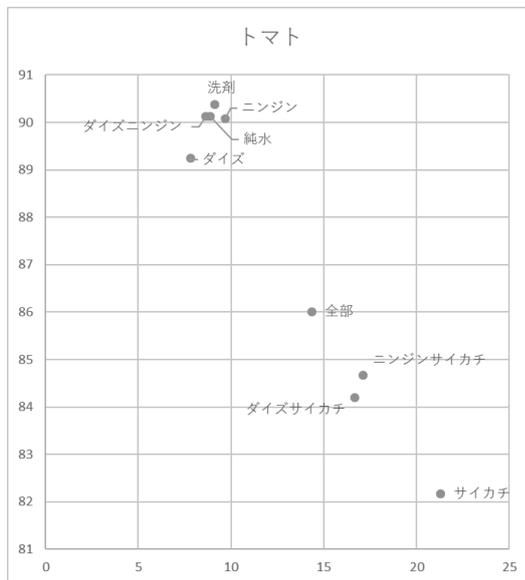
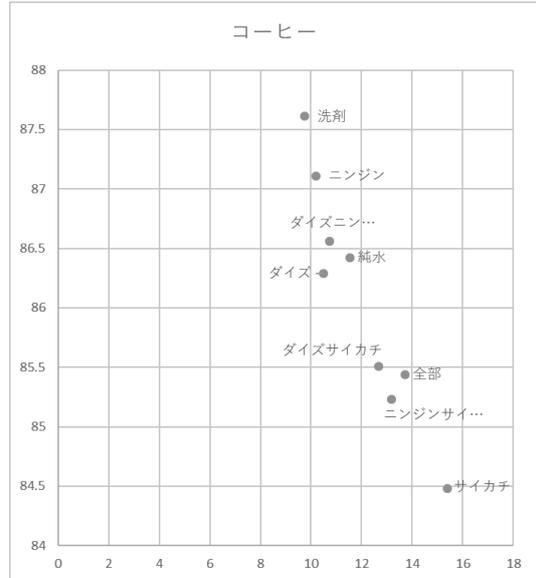
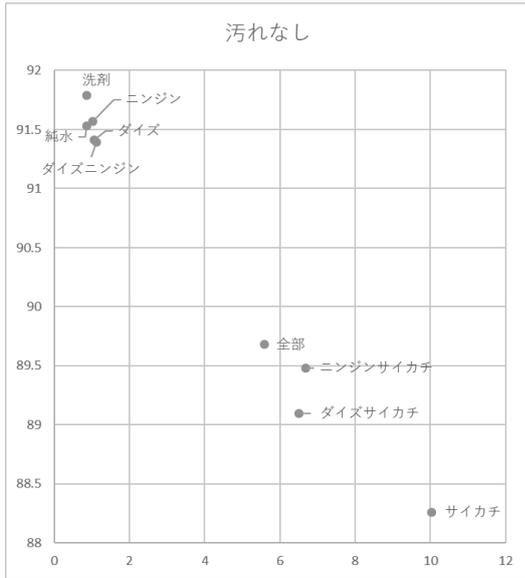
L*a*b*色空間では、明度を L*、色相と彩度を示す色度を a*、b*で表す。図6は、L*a*b*色空間色度図である。図からわかるように、a*、b*は、色の方向を示しており、a*は赤方向、-a*は緑方向、そして b*は黄方向、-b*は青方向を示している。数値の絶対値が大きくなるにつれて鮮やかな色を示し、小さくなるに従ってくすんだ色を示す。彩度 C*は a*、b*を用いて次の式で求められる。

$$(C^*) = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

(KONICA MINOLTA, 色色雑学より)

今回の研究ではデータの図式化のため、横軸を彩度 C*、縦軸を明度 L*として(図7)散布図を作成した。点の位置は色調を示している。この散布図では、左上の点ほど明度が高く彩度が低い色を表しているため、左上の点が表す洗浄液ほど洗浄効果が高く、同様に右下の点が表す洗浄液ほど洗浄効果が低いと判断した。

結果は以下のものである。



4. 考察

サイカチを用いて作製した洗浄液(サイカチ, ダイズ+サイカチ, ニンジン+サイカチ)は, どの汚れにおいても洗浄効果が低かった. このことから, サイカチから抽出された色素が布を再汚染し, その影響はかなり大きかったと考えられる. サイカチは平安時代以降洗剤として利用されていたことがあったという記録(日本清浄文化史, 1971)があるため洗剤に特に適していると予想していたが, 本実験の結果から考えると洗剤として利用することは難しいといえる.

皮脂において, サイカチを用いて作製した洗浄液の彩度が他と比較して低くなっているのは, 皮脂汚れの青色とサイカチの茶色が打ち消しあったためと考える.

本研究では, 洗剤と同等以上の洗浄力をもつ植物由来の環境にやさしい洗剤を作ることを目的としていたが, どの汚れにおいても洗剤の洗浄力は安定して高く, 洗剤に勝る洗浄力を有する洗浄液はなかった. 汚れなしにおいて, 純水で洗浄した際より洗剤で洗浄した際の方が布の色の明度が高くなっていたのは, 洗剤に蛍光増白剤が含まれているためと考えられる.

ダイズニンジンの洗浄液の洗浄効果は朱肉と皮脂に対して高かった. これはダイズニンジンに油汚れへの効果が高い構造をもつサポニンが含まれるためと予想する.

5. まとめと今後の課題

以上よりサイカチは洗剤の成分には不向きであり, ダイズニンジンが総合的に見て洗剤に一番向いている. しかし, どの抽出液も洗剤よりも洗浄力が劣る点, 洗浄後ににおいが残る点から実用化するには厳しいといえる.

また, 抽出方法について, 今回の方法はサポニン以外の物質も抽出される上に十分な量のサポニンが抽出されたかが分からないので, サポニンのみを効果的に抽出する方法も再検討する余地がある. 洗浄方法においても, 今回は人による洗

浄が最適であると判断したが, 力にむらが出てしまうので, より良い洗浄方法も再検討する必要がある.

今回の実験により野菜から抽出したサポニンだけでは洗浄力に限界があるとわかったため, 洗浄力向上, においの除去を目的として, 天然成分である重曹を加えるなどして天然成分のみで作られた洗剤の実用をめざして改良を進めていきたい. また, サポニンの中には脂溶性の汚れに効果が高いものと水溶性の汚れに効果が高いものがあったため, サポニンの構造を調べ構造による効果の違いを解明することでよりよい洗剤の作製につながると思う.

6. 謝辞

布の汚れを数値化するにあたって, 京都府立大学の神代圭輔准教授および神代研究室の皆さんに色彩色差計を貸していただき, 研究の考察について様々な助言を頂きました. 本研究に携わってくださった皆様に多大なる感謝を申し上げます.

7. 参考文献

高橋兆子, 藤居眞理子, 2003, サイカチ, ムクロジ, 灰汁の洗浄性と溶液物性, 東京家政大学紀要, 第 43 号, 3-4

花王石鹼株式会社, 1971, 日本清浄文化史, 164

株式会社だいちダイズ, サポニンが多く含まれる食品と大豆,
<https://daizu-days.com/dic/saponin2/>, 2018.4.26

KONICA MINOLTA, 色色雑学,
<https://www.konicaminolta.jp/instruments/knowledge/color/section2/02.html>, 2018.12.19

8. 添付資料



図2. サイカチ



図3. 実験②の汚染布



図4. 実験②の結果



図5. 色彩色差計を用いた測定の様子

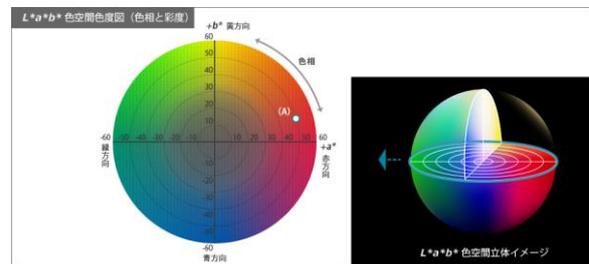


図6. L*a*b*色空間色度図(色相と彩度)
(KONICA MINOLTA, 色色雑学より)

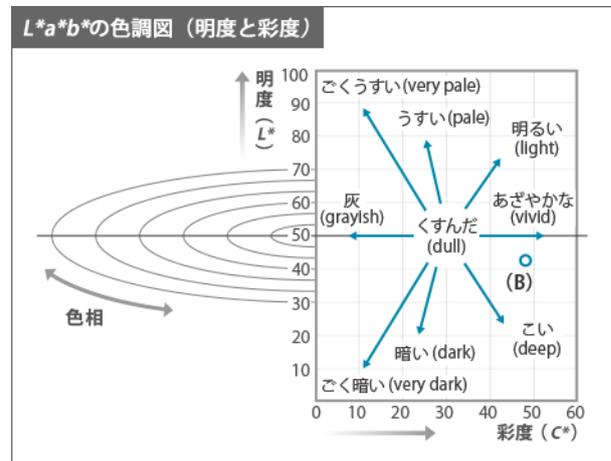


図7. L*a*b*色調図(明度と彩度)
(KONICA MINOLTA, 色色雑学より)

刺身パックに秘められた工夫

桶谷剛汰 四方裕一朗 中江亮太 和谷悠矢

要旨

本研究では、刺身パックに入っているわさびや醤油、つま、しそなどは味を良くするためだけでなく、菌を殺したり、抑制したりする効果があると考えたのでそれを調べたいという動機のもとわさびや醤油の殺菌効果があるかやわさび醤油にわさびと醤油がそれぞれ持つ抗菌効果を合わせた相乗効果があるかどうかを目的として、わさび、醤油、わさび醤油を用いた大腸菌に対する殺菌効果、抗菌効果を調べた。結果として、わさびの殺菌効果、抗菌効果はともに見られ、醤油の抗菌効果は確認できたが、殺菌効果は見られなかった。わさび醤油の殺菌効果は見られたが、期待していたような相乗効果は見られなかった。抗菌効果は確認できた。

1. はじめに

刺身パックについてくるわさびや醤油、しそ、つまといったものは、味を整えるためだけではなく、菌の増殖を抑制する働きがあるのではないかとすることに注目して、わさび、醤油、そして相乗効果を期待したわさび醤油の殺菌効果、抗菌効果を実験で調べた。なぜ抑制効果があると考えたのかということとわさびには殺菌効果があると聞いたことがあり、また刺身はしそやつまのうえに置かれていることが多く、しそやつまに効果があるからそういう配置ではないかと思ったからである。先行研究からわさびに含まれるアリルイソチオシアネートに殺菌効果、抗菌効果があることはもともとわかっており（日本食品分析センター、2010）、また一般的な醤油の塩分濃度は15%で大腸菌はほとんど死滅するので殺菌効果があることが分かっていた（芝崎勲、2004）。殺菌は病原性や有害性を有する細菌、ウイルスを死滅させる操作のことで抗菌は細菌やウイルスの増殖を抑制する操作のことを指す。このことからわさびと醤油のもつ効果を合わせたわさび醤油はより高い殺菌効果をもつのではないかと考え、それを確かめるためにまず殺菌効果を調べる実験

を行い、また補足的に抗菌実験も行った。

2. 材料・研究方法

2-1. 研究試料

本研究で用いた醤油、わさびは市販品（キッコーマン醤油株式会社、ねりわさび（ハウス食品））を用いた。大腸菌はJM109株、培地にはLB培地（液体、寒天）を用いた。

2-2. 研究方法

殺菌効果を調べる実験では、事前に起こした大腸菌を100 μ Lずつ5mLの液体培地8本に加えて37 $^{\circ}$ Cのインキュベーターで1日培養した。その後わさび1g、醤油0.1mL、わさび醤油（わさび1gと醤油0.1mLを混ぜたもの）、水0.1mLを2本ずつそれぞれの液体培地に加えて、3日間培養した。その後、それぞれから50 μ Lずつを寒天培地の上に広げて培養し、大腸菌の増殖数を調べた。抗菌効果を調べる実験では、殺菌効果の実験と同様十分培養した大腸菌100 μ Lを寒天培地に塗り広げ、その上にわさび1g、醤油50 μ L、わさび醤油（わさび1gと醤油50 μ L）、水50 μ Lを、間隔をあけて滴下して、大腸菌の生育を観察した。マグロ2切れ

を4つのシャーレに置いて、何も加えなかったもの、わさび 3g, 醤油 60mL, 二つを加えたものの4つに分けた。4日間に醤油を抜いて、菌の繁殖率を観察した。

3. 結果

まず殺菌効果の実験では、図1よりわさび、わさび醤油において大腸菌が一部死滅していることが確認された。水、醤油においては菌の死滅は確認されなかった。その一方で水、醤油に比べてわさびとわさび醤油で大腸菌が少なかったので一部が死滅していたと考えられる。抗菌効果の実験では図2よりわさび、醤油、わさび醤油のまわりで菌の増殖が抑制されていることが確認された。水のまわりで菌の増殖の抑制は見られず、わさび、醤油、わさび醤油に抗菌作用があると考えられた。

マグロ漬けの実験では、わさび、醤油、わさび醤油いずれでも菌の増殖が抑制されていた。また、わさび醤油は醤油、わさびを加えたものよりも増殖率は低かった。



水

わさび



わさび醤油

醤油

図1：殺菌実験の結果



図2：抗菌実験の結果

4. 考察

わさびにはアリルイソチオシアネートが含まれており、殺菌効果はある。また、醤油の塩分濃度により大腸菌はほとんど死滅するとわかっていた。しかし、殺菌実験の結果からわさびの殺菌効果は観察できたが、醤油の殺菌効果、わさびと醤油の相乗効果は確認できなかった。その理由としてはそもそもわさびと醤油の間で殺菌効果を向上させるような反応は起きないかもしくは今回の実験では大腸菌のみに対する効果だったのでそれ以外の菌に対する効果はわからなかった、醤油の抗菌作用は液体培地に入れたことで塩分濃度が薄まり、効果がなくなったのではないかとことが挙げられる。まぐろ漬けの実験より、わさびや醤油、わさび醤油の大腸菌以外に対する殺菌効果は確認できたが、目視ではどれが一番効果があったかなどの比較ができなかったので、数値化できないというところに問題点があった。

5. まとめと今後の課題

わさびや醤油の濃度がだまかで正確な数値が取れなかった。また殺菌効果の実験で菌がどれだけ死滅したのかを目視でしか数値化できなかったので、殺菌効果の実験を醤油の液体培地に入れた時点での塩分濃度を正確に測ると、大腸菌の数を調べるために液体培地の希釈をして寒天培地に移すという点を踏まえてもう一度行う。また、刺身パックに含まれているつまや、しその揮発性による効果についても追加の実験として行う。まぐろの腐る基準が曖昧であり、菌の増殖を確認しづらかった。腐る基準を明確にすることができれば単位面積あたりの腐食範囲を調べ、数値化して、

比較することができる。

6. 参考文献

雨宮一彦, 中村由紀, 新井由紀, 2008, 市販わさびの蒸散状態による抗菌作用, 国際学院埼玉短期大学研究紀要,
<https://ci.nii.ac.jp/els/contents110006992810.pdf?id=ART0008905018>

円谷悦造, 浅井美都, 辻畑茂朝, 塚本義則, 太田美智雄, 1998, 腸管出血性大腸 O157; H7 をはじめとする食中毒菌に対する食酢の抗菌作用(その 1) 静菌作用及び殺菌作用,
<http://journal.kansensho.or.jp/kansensho/backnumber/fulltext/71/443-450.pdf>

円谷悦造, 浅井美都, 辻畑茂朝, 塚本義則, 太田美智雄, 1998, 腸管出血性大腸 O157; H7 をはじめとする食中毒菌に対する食酢の抗菌作用(その 2) 殺菌作用に及ぼす塩化ナトリウムと温度の影響,
https://www.jstage.jst.go.jp/article/kansenshogakuzasshi1970/71/5/71_5_451/_pdf/-char/ja

日本食品分析センター, 2010, 植物の辛み成分について,
http://www.jfrl.or.jp/jfrlnews/files/news_vol3_no21.pdf

芝崎勲, 2004, 食品加工と微生物 その 24 食塩による微生物制御,
<http://www.asama-chemical.co.jp/PN/P102.PDF>

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 ～

生形綾音 棕橋直陽 櫻井太翔 平田艶羽

要旨

ゼブラフィッシュ (*Danio rerio*) では視覚情報による恐怖の伝播が起こるのか明らかにするために実験を行った。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、投与前後の比較を行った。結果、不安反応である“潜行”や“フリージング”する時間の割合の増加が確認された。ゼブラフィッシュは恐怖にさらされた行動をとる他個体を視認すると類似の不安反応を起こす、すなわち恐怖の伝播が起こることが分かった。

1. はじめに

魚類には社会性があることが知られている。例として、メダカのメスは初めて見たオスよりも以前同じ水槽にいたことがあるオスをパートナーとして選ぶ傾向があることが報告されている (奥山ほか, 2014)。

また、ゼブラフィッシュは警報物質を持つことが分かっている。警報物質とは、多くの魚類 (特にコイ目などを含む骨鰓上目) の表皮中に含まれる物質で、捕食者による攻撃などで表皮細胞が壊れることで、水中に放出される匂い物質であると考えられている。警報物質は捕食者の存在を周囲の同種もしくは近縁種に示す。これを嗅覚で受容した個体は本能的な不安反応を発現する。多くの場合、でたらめな方向転換を急激に繰り返す(エラティックムーブメント)、水底を好んで泳ぐ(以下“潜行”と呼ぶ)、フリージング (水底付近で停止する行動)、密な群れを作る、などがある (吉田, 2011)。警報物質は極めて低濃度でもこれらの効果を示すため、水槽に投与することで容易に不安反応を発生させることができる。

そこで我々は、警報物質を用いてゼブラフィッシュの社会行動に関する研究を行うこととした。

警報物質を用いた先行研究で、隣接する水槽に恐怖にさらされていない複数の同種固体を視認できる状態だと、警報物質を投与されて引き起こされるゼブラフィッシュの不安反応が通常よりも短くなったことが報告されている。平静な仲間を視認することで、恐怖が薄らいだと推測されている (Faustino ほか, 2017)。

そこで、我々はこの先行研究とは反対に、「警報物質を投与されて不安反応を起こしている複数の同種個体を視認した隣接水槽のゼブラフィッシュは警報物質を直接受容しなくても不安反応を引き起こす」という仮説をたてて検証実験を行った。不安反応として、今回は特にフリージングと潜行の 2 つの行動を取り上げた。

2. 材料・研究方法

2-1. 警報物質の採取方法

- ① ゼブラフィッシュをビーカーに入れた氷水で麻醉した。
- ② シャーレ上に置き、メスで頭から尾に向かってなでるように鱗を削りとった。
- ③ 鱗は純水で流して乳鉢に入れた。水は 3 匹につき約 10mL 使用した。
- ④ 表皮細胞を破壊し内容物を出すため、乳棒で

鱗をすりつぶした。

⑤ うわづみをマイクロピペットで 0.5mL ずつ分けてマイクロチューブに入れ、冷凍保存した。

2-2. 実験方法

① 隣接する 2 つの水槽 A, B を用意し、ゼブラフィッシュを A には 1 匹, B には 2 匹入れた。

メスの場合、性周期によって反応に大きな差が出る恐れがあるため、実験に使うゼブラフィッシュは全てオスであるのが望ましい。そこで、少なくとも、水槽 A の個体にはオスを使用した。

② ゼブラフィッシュを移動後の水槽に慣れさせるために、15 分間静置した。この時から実験終了まで、ゼブラフィッシュが水槽から飛び出さないように、警報物質を入れるための穴があるプラスチック板で蓋をした。

③ 水槽 A を約 5 分間観察し、ビデオで録画をした。これを対照実験とした。

④ 水槽 B に警報物質 0.5mL 投与し、水槽 A の 1 匹を観察し、ビデオで録画した。録画時間はおよそ 10 分とした (表 1)。

⑤ ①~④を繰り返し 8 回行った。

⑥ 水槽 A に入れるゼブラフィッシュは観察ごとに異なる個体で行った。水槽 A に入れて実験した個体は実験終了後に取り出した水槽とは別の水槽に移し、他個体と混ざらないようにした。

⑦ 水槽の下層 (約 3/8 より下) を泳ぐ状態を潜行とみなし、1 秒以上の静止をフリージングとみなした。それぞれの状態にあった時間をストップウォッチで計測した。



図1. 隣接した二つの水槽 A(左)と B(右)

3. 結果

観察された水槽 A の潜行時間とフリージング時間の結果を表 1 と図 2 に示す。

表 1. 時間計測した結果

隣接した水槽 B への警報物質 (AS) 投与前 (上段) と後 (下段) で、それぞれ記録された水槽 A のゼブラフィッシュの行動観察時間と、そのうち潜行が観察された時間及びフリージングが観察された時間を示す。

結果	時間 (分:秒)	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目
コントロール (AS投与前)	観察時間	5:00	5:00	5:00	5:00	5:00	5:00	5:00	5:00
	潜行時間	3:00	1:55	0:38	1:48	1:38	4:39	3:35	4:58
	フリージング	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:20
AS投与後	観察時間	10:19	9:15	10:34	14:18	11:39	11:56	10:58	12:55
	潜行時間	9:36	8:46	4:00	5:30	7:50	11:44	9:25	12:55
	フリージング	0:00	1:16	0:00	0:00	0:50	1:20	0:00	3:59

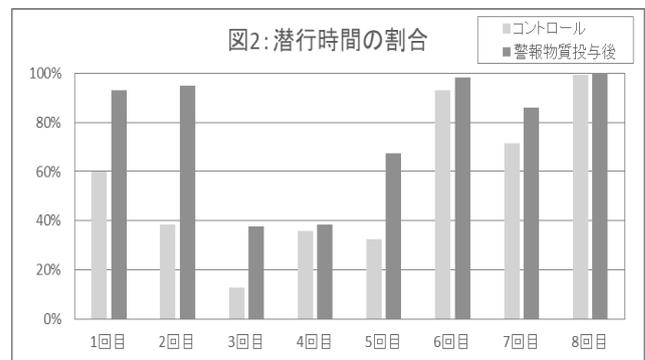


図 2. 潜行時間が観察時間に占める割合

縦軸は潜行時間の観察時間に占める割合(%), 淡色のバーは警報物質投与前, 濃色のバーは警報物質投与後のデータである。

警報物質投与前では、隣に両水槽の個体がそれぞれ隣の水槽に近い側へ向かって活発に泳ぐ様子が観察された。この行動は2つの水槽を隣接させる前には観察されなかった。したがって、両水槽の個体は他水槽の個体を認識していたと考えられる。

警報物質投与後では、8回の実験の内4回で、水槽 A において、フリージングが観察された（表 1）が、投与前では8回目の実験で一度だけごく短時間起こったのみであった。

8回全ての実験で、フリージングは投与前にも投与後にも見られたが、観察時間に占める割合は、警報物質投与前よりも投与後の方がすべての観察で高くなっていた。（図 2）

また、個体によって示す恐怖反応や不安反応の種類や時間にかかなりのばらつきが見られた。

4. 考察

8回すべての実験で潜行時間の増加が起きた。投与後にフリージングが見られた4回のうち3回では、投与前ではフリージングが見られなかった。投与前でもフリージングが観察された8回目の実験では、実験中に外部から音と視覚の刺激があったので、その刺激に対して個体が恐怖を感じたのではないかと考えられる。つまり警報物質投与前から恐怖を感じていたと考えられるが、それでも投与後にフリージングの割合は投与前の7%から投与後の31%に大きく増加した。

以上から、8回すべての実験で、水槽 A のゼブラフィッシュは他個体の警報物質に対する反応を見ただけで不安を感じたと考えられる。したがって、ゼブラフィッシュでは視覚情報のみから恐怖が伝播するという仮説が支持されたと考えられる。

本研究では、実験を長期間にわたって断続的に行った。それに伴い、気温などの実験環境が実験ごとに大きく変わってしまった。個体が実験に慣れることを恐れ、実験ごとに水槽 A の

個体を変えて行ったが、実験環境以外の条件をなるべく統一するためにも、複数の個体を用意して、短い間にそれぞれの個体に対して複数回実験を行ってみてもよかったかも知れない。それによって、実験ごとに変化する要素が少なくなり、それぞれの実験結果を比べることもできるだろうと考えられる。

5. まとめと今後の課題

ゼブラフィッシュは同種個体の不安反応という視覚情報を得た時にどのように反応するのかということを調べた。その結果、不安反応である「潜行」と「フリージング」の時間の割合がすべての実験で増加した。したがって、同種個体の不安反応を見たゼブラフィッシュは不安を感じるということが分かった。

また、水槽 A の個体の行動のばらつきには隣の水槽 B の個体の行動が影響していると考えられるため、水槽 A の個体の動きについて述べる上では、水槽 B の個体の行動を詳しく分析する必要があると考えられる。水槽 B と水槽 A の個体の行動に関係性を見出すことができれば、水槽 A の個体の不安反応が水槽 B の個体のどのような行動によって引き起こされたのか、つまり、ゼブラフィッシュが何に対して不安を感じるのか、より詳しく考察できると考えられる。

6. 謝辞

福井大学大学院医学部医学科教授の深澤有吾先生には考察の際に、丁寧なご指導をいただきました。深く御礼申し上げます。

広島大学大学院生物圏科学研究科准教授の吉田将之先生には、夏の暑さの中で実験がうまくいかなかった際に、実験を進めるための多くのご助言をいただきました。心より感謝いたします。

また京都大学大学院情報学研究科助教授の前川真吾先生には飼育施設を見学させていた

だき, ゼブラフィッシュの飼育について多大な助言を賜りましたことに感謝の意を表します。

7. 参考文献

Ana I. Faustino・André Tacão・Monteiro・Rui F. Oliveira, 2017.3.31, Mechanisms of social buffering of fear in zebrafish, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5374490/>

理化学研究所広報室, 2014.3.5, RIKEN

NEWS No.393, 理化学研究所, 46p.

Allan V. Kalueff・Michael Gebhardt・Adam Michael Stewart・Jonathan M. Cachat・Mallorie Brimmer・Jonathan S. Chawla・Cassandra Craddock・Evan J. Kyzar・Andrew Roth・Samuel Landsman・Samuel Landsman・Kyle Robinson・Erik Baatrup・Keith Tierney・Angela Shamchuk・William Norton・Noam Miller・Teresa Nicolson・Oliver Braubach・Charles P. Gilman・Julian Pittman・Denis B. Rosenberg・Robert Gerlai・David Echevarria・Elisabeth Lamb・Stephan C. F. Neuhauss・Wei Weng・Laure Bally-Cuif・Henning Schneider, 2013.3.10, Towards a Comprehensive Catalog of Zebrafish Behavior 1.0 and Beyond, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3629777/>

奥山輝大, 竹内秀明, 2014, メダカを用いた分子遺伝学的手法による魚類「社会脳」の分子神経基盤の解明, https://www.researchgate.net/profile/Hideaki_Takeuchi/publication/285554246_Exploring_the_neural_geography_of_the_social_brain_using_medaka_fish/links/568c4ffc08aeb488ea2fd5

07/Exploring-the-neural-geography-of-the-social-brain-using-medaka-fish.pdf

吉田将之, 2011, 魚類における恐怖・不安行動その定量的観察,

https://www.jstage.jst.go.jp/article/hikakuseiriseika/28/4/28_4_317/_pdf/chart/ja

尾崎まみこ, 村田芳博, 藍浩之, 定本久世, 吉村和也, 神崎亮平, 日本比較生理生化学会, 2015, 研究者が教える動物実験 3 行動. 共立出版, 134-138p.

広島大学大学院生物圏科学研究科 生物資源科学専攻, 2018.6.10, 「動物の心は, 脳のどのようなはたらきによって生じるのだろうか」, <https://sites.google.com/site/biopsychologylab/>

吉田将之, 2017, 魚だって考える. 築地書館, 208p.

未知なるトビケラシルクの性質に迫る

島田望未 土屋恵里 堀井彩名 松崎日南

要旨

本研究では鴨川に生息するヒゲナガカワトビケラを採取し、それらが分泌するトビケラシルクを用いて、熱・酸・塩基・塩水への耐性、トビケラシルクが接着し得る素材を調べ、その性質について考察した。また、トビケラの生態を知るために、トビケラが巣を作る過程を観察した。最後に、エネルギー分散型 X 線分析装置(EDS)を用いてトビケラシルクの接着面の元素組成を分析した。

1. はじめに

トビケラの幼虫は殆どが水生で細長いイモムシ状であるが、脚は発達しており、砂利等を利用して水中に巣を作るものが多い。幼虫の生息する水域は種によって異なるが、溪流やきれいな川が一般的である(竹門ら, 2014)。今回用いたヒゲナガカワトビケラ(*Stenopsyche marmorata*)の幼虫は、石に巣を固定し、その中で生活する造網型である。シルクを吐糸して巣網を張り、流れてくるプランクトン等の有機物栄養源を捕集している。トビケラシルクは粘着性の観点から、水中接着剤や医療用接着剤としての利用が期待されているが、研究が進んでいないのが現状である(新井ら, 2017)。

これらの研究を進める上で、トビケラシルクの性質の解明は必要不可欠である。本研究ではまず、予備実験として、トビケラシルクの熱への耐性を調べた。その結果、0°C~100°Cの間では目に見える変化はなかった。そこで、トビケラシルクの酸・塩基への耐性、様々な素材への接着性、トビケラが巣を作る過程、トビケラシルクの接着面等の実験を行った。また、水中接着剤への利用を考え、トビケラシルクの塩水への耐性を調べるなど多角的な視点から実験を行った。本論文では、実験の結果からトビケラシルクの性質について考察した。

2. 材料・研究方法

本研究で用いたトビケラは、2018年5月から11月に複数回、鴨川から採取した。

2-1. 酸・塩基への耐性

0.1mol/Lの塩酸と0.1mol/Lの水酸化ナトリウム水溶液を用意した。それらを希釈して、pH1から13の溶液を作った。約1cm²の切片をトビケラの巣から切り出し、それぞれの溶液に24時間浸した。トビケラシルクを溶液から取り出して純水につけた後、電子顕微鏡で観察した。

2-2. 塩水への耐性

海水の塩濃度に相当する3.5%の食塩水を用意した。トビケラシルクをこの食塩水に5日間浸した。そして電子顕微鏡でシルクに変化があるか観察した。

2-3. 様々な素材への接着性

トビケラは大きめの石の平面を基盤にして、小石や砂を綴り合せて造巣する。そこで、小石だけでなく次のような巣材で造巣するかを実験で確かめた。ビー玉(Φ21mm)、鉄球(Φ8mm)、ゴム球(Φ21mm)、小石(Φ5mm)をそれぞれ、ザルの底が隠れる位に入れた。それぞれのザルに、トビケラ1~2個体と基盤となる石を入れて4日間、鴨川に設置した後、引き上げて、造巣の有無を確認し

た。

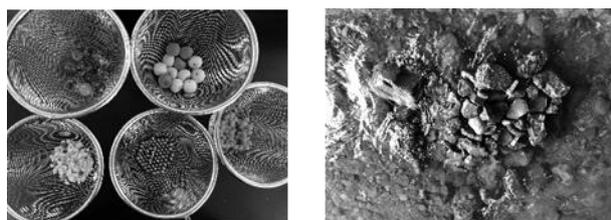


図 1. 巣材

図 2. 実験の様子

その結果、ゴム球にはトビケラの巣が作られなかった。これは、ゴム球のみ平滑でないことが要因だと考えられた。

そこで、使用したゴム球、ゴム製の平滑な一辺約1cmの立方体、石を入れた30cm水槽を用意した後、トビケラ7~8個体を入れ、3日間放置し、造巣の有無を確認した。

2-4. トビケラが巣を作る過程

水槽に小石を満遍なく散布し、トビケラが巣を作る様子を約3時間水槽の底から撮影した。

2-5. 接着面の様子及びその成分

塩化ビニル製のシートを水槽の側面と底面に貼り付け、そこにシートを基盤にした巣をトビケラに作らせた。その後、トビケラシルクとそのシートの接着面を電子顕微鏡で観察し、エネルギー分散型X線分析装置(EDS)で分析した。

3. 結果

3-1. 酸・塩基への耐性

pH1ではpH7とトビケラシルクの外見に変化が見られなかった。pH11から13にかけて繊維が崩れていき、pH13では原型を留めていなかった。

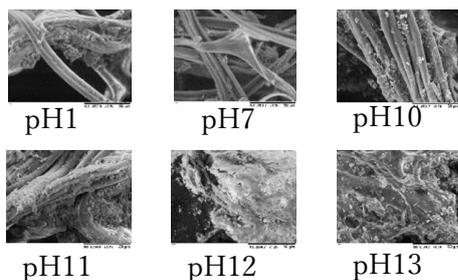


図 3. トビケラシルクの酸・塩基による変成の様子

3-2. 塩水への耐性

食塩水に浸した後の観察では、1200倍の観察では繊維の表面に凹凸が見られなかったが(図4左)、更に4000倍に拡大すると表面にひだが見られた(図4右)。

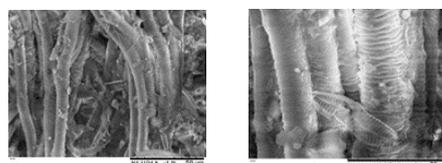


図 4. 1200倍(左), 4000倍(右)

3-3. 様々な素材への接着性

鴨川での野外実験では、ビー玉、鉄球、小石にはトビケラの巣が作られたが、ゴム玉には作られなかった。

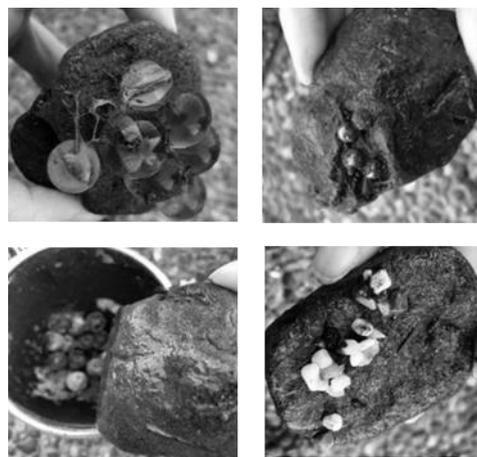


図 5. 各材料の接着の様子

水槽でのゴムの巣材を用いた実験では、ゴム球には造巣し、平滑なゴム製の立方体には造巣しなかった(図6)。



図 6. 異なる形状のゴムへの接着の様子

3-4. トビケラが巣を作る過程

造巣の過程を観察するための室内実験では、トビケラが脚と口で小石を選定している様子は見られたものの、巣を作るために小石を運搬している様

子は観察できなかった。

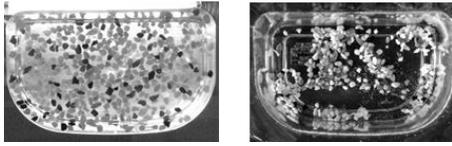


図 7.2-4 観察開始(左), 終了時(右)

3-5. 接着面の様子及びその成分

塩化ビニルを基盤にしたトビケラシルクを電子顕微鏡で観察したところ、トビケラシルクの先端を溶かして接着面を広げ、塩化ビニル製のシートに接着していた(図 8)。EDS の分析により、接着面と考えられる部分には C と P が多く見られ、その周りには Cl と Pd が多く見られた(図 9, 10)。

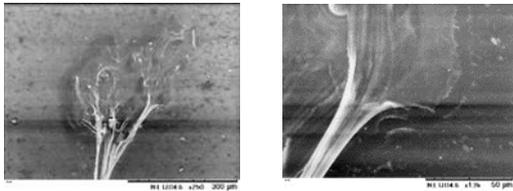


図 8. 250 倍(左), 1200 倍(右)

4. 考察

4-1. 酸・塩基への耐性

トビケラシルクは酸には強く、塩基には弱い。また、pH11 付近で繊維が崩れ始める。

4-2. 塩水への耐性

海水に浸けたトビケラシルクでは、確かに表面に変化が見られた。しかし、強い塩基による表面構造の崩れと比較すると、海水に弱いと断定するに至らなかった。

4-3. 様々な素材への接着性

造巣の有無にゴム製かどうかは関わりがなく、本実験で使用した全ての素材に巣がつくられた。しかし、ゴムへの接着は他と比べて強力ではなかったため、トビケラは巣材としてゴムを好まない傾向にあることが分かった。また、野外実験では川の水流があったため、軽くて安定性のないゴム球には巣が作りにくかった可能性がある。

4-4. 巣を作る過程の観察

トビケラは巣を作る際に用いる小石に対して多少の好き嫌いはあるが、あくまで自分の周りにある石を用いる傾向にあることがわかった。

4-5. トビケラシルクと巣材の接着

トビケラはトビケラシルクを接着するにあたり、特別な粘液等を分泌しているのではなく、シルクそのものの接着面を広げることで接着していると考えられる。Cl と Pd は塩化ビニル製のシートの成分だと考えられるので Cl と Pd が少なく、C と P が多く見られた部分がトビケラシルクの接着面だと考えられる。トビケラシルクがタンパク質だとすると、N と S にピークが見られるはずだが、本実験では見られず、P に反応があった。これについては現在のところ、その理由などについてはよく分からない。

5. まとめと今後の課題

今回私たちが研究を行うにあたり、先行研究が多くないことを知った。よって様々な観点から実験を行うことで少しでもトビケラ及びトビケラシルクの性質を解明しようと試みた。一連の実験を通し、様々なことが分かったものの、水中でのトビケラシルクの強度の理由や接着面の成分、海水につけることで起こる変化の原因は分からなかった。トビケラシルクを実用化していく際、このような点について、更に研究を続けることが望まれる。

6. 謝辞

京都府立大学の神代圭輔准教授には研究機関を通して、多大なご指導をいただき、また、電子顕微鏡や EDS を使用させていただきました。

7. 参考文献

新井亮一, 平林公男, 大川浩作, 2015. 8. 31, 水中昆虫トビケラシルクの新規タンパク遺伝子の発見及び解析に成功, <http://fiber.shinshu-u.ac.jp/arai/Caddis>

flySilkPressRelease20150831.pdf, 201

8.4.30

国土交通省, 2012.2.26, ヒゲナガカワトビケラ -

河川生態ナレッジデータベース,

Kasenseitai.nilim.go.jp/index.php, 201

8.11.23

Stewart, Russell., Wang, Ching Shuen, a

nd Ashton, Nick, 2010. 3. 1, Glue,

Fly, Glue,

Archive. unews.utah.edu/news.releas

es/glue-fly-glue/, 2018.11.16

竹門康弘, 小林草平, 多田重光, 濱田博, 日下

哲也, 脇坂英昭, 安田美樹, 2014. 2, 宇

治川に発生するトビケラに関する報告書,

2018. 11. 23,

[http://www.city.uji.kyoto.jp/cmsfiles/co](http://www.city.uji.kyoto.jp/cmsfiles/contents/0000012/12796/uji-tobikerahou)

[ntents/0000012/12796/uji-tobikerahou](http://www.city.uji.kyoto.jp/cmsfiles/contents/0000012/12796/uji-tobikerahou)

[koku.pdf](http://www.city.uji.kyoto.jp/cmsfiles/contents/0000012/12796/uji-tobikerahou)

8. 参考資料

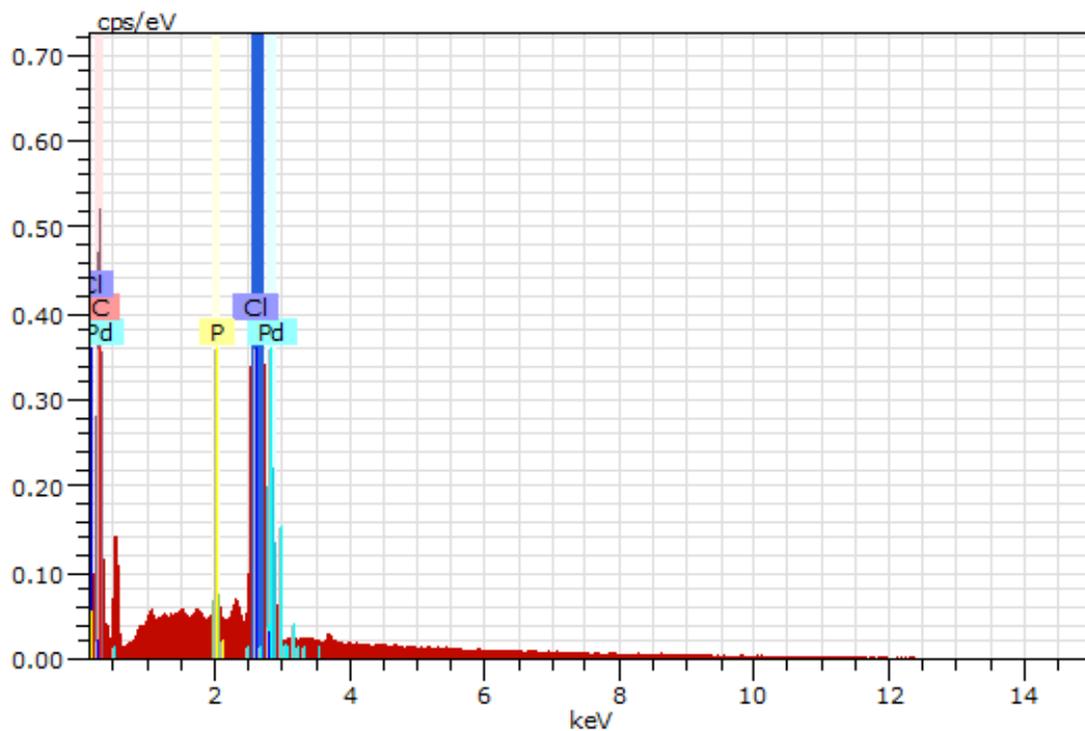


図 9. EDS による分析の結果を示すスペクトルグラフ

電子顕微鏡で観察したサンプル全体から得られた、EDS による分析結果のスペクトルグラフ。スペクトルのピークが Pd, C, P, Cl を含むサンプルであったことを示している。

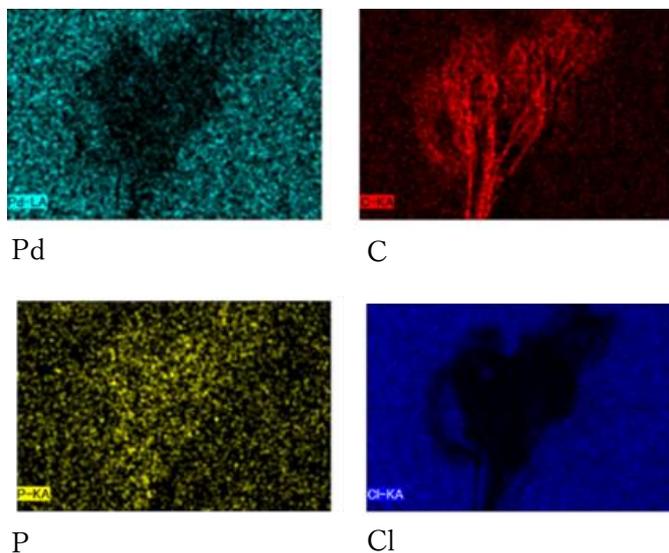


図 10. 電子顕微鏡(250 倍)で観察したトビケラシルクと塩化ビニルの接着面

Pd(左上), C(右上), P(左下), Cl(右下)について、着色されている部位がそれぞれの元素の局在を示す。トビケラシルクには C(右上)と P(左下)、塩化ビニルには Pd(左上)と C(右上)の局在が見られた。

藻類を用いた省エネかつ効率的な緑のカーテンの実現に向けて

井上颯 大木萌花 小笠原彩花

要旨

本研究は、一年中使用可能で労力の比較的少ない緑のカーテンの実現の第一歩として、藻類を水中以外の環境でキープ(保持・培養)するという実験を行った。その結果、キープするつもりであった藻類と異なる藻類が育ったものの、水中以外の環境でも藻類をキープすることができた。

1. はじめに

緑のカーテンは、植物の光合成により二酸化炭素を吸収し、光を遮ることから、地球温暖化対策につながると期待されている。しかし、通常ツルレイシやアサガオなどは一年草であり、一年中二酸化炭素を吸収するというわけではない。さらに、水やりや枯れた後の片付けなどの労力を必要とする。そこで一年中光合成をし、水やりなどの手間の発生しない藻類に着目した。特に、本来の緑のカーテンで使われるツルレイシが食用となる実の収穫も兼ねていることから、将来の食料難に対応する生物として近年注目されているミドリムシに目をつけた。本論文では、藻類を用いた緑のカーテンの実現に向け、藻類を水中以外の環境でキープする手法について考察する。

2. 予備実験

2-1. 材料と方法

本研究で用いたミドリムシはある教育機関から譲り受け、校内で継代培養してきたものである。ただし、予備実験 2 で用いたミドリムシはこれを遠心分離(1 分間 3000 回転)した。予備実験 2 で用いた人工種子はアルギン酸 Na を CaCl_2 に滴下して作製したものである。ミドリムシは成人用紙おむつの中身(高分子吸水性ポリマーを含んだ綿状パルプ)を十分に湿潤させたものの上でキープした。純水はイオン交換水を用い、肥料は 0.1%ハイポネックス水溶液を用いた。水槽の水とは、魚を

飼育している水槽の水である。キープの際は、基本的には人工気象装置(日本医化器械製作所製)を用い、気温約 20°C 、明暗周期 12 時間、照度 4000 ルクスで行った。

2-2. 予備実験 1

2-2-1. 目的

ミドリムシが高分子吸水性ポリマー上で育つかを確かめ、水の純度、酢酸の有無で生息状態が変化するかを調べる。

2-2-2. 実験

ほぐした紙おむつを直径 7.2mm のシャーレに厚さ 5mm ほどになるように広げ、紙おむつ内の高分子吸水性ポリマーに水を限界まで(高分子吸水性ポリマーから吸収しきれなかった水がわずかに出るほど)吸収させ、そこにミドリムシ 30 μL を加えた。入れた水の条件を変えてラップで包んで人工気象装置でキープした。条件は Table 1 のようになる。

	条件
A	0.1%ハイポネックス溶液約 1mLと純水
B	水槽の水 15mLと純水
C	水槽の水 15mLと 5%酢酸水溶液 3mLと水道水

Table 1

A, B, C を人工気象装置に入れてキープした。

2-3. 予備実験 2

2-3-1. 目的

ミドリムシは通常水中に生息する。そこで、水を有形のものにできる人工種子の中でミドリムシが育つかを確かめる。

2-3-2. 実験

1%アルギン酸 Na 水溶液をミドリムシと混合して 20%CaCl₂ 水溶液に滴下し、ミドリムシを内包する人工種子を作成した。そこに 0.1%ハイポネックス水溶液を加え、ラップで包んで人工気象装置に入れてキープした。

3. 予備実験の結果

3-1. 予備実験 1 の結果

人工気象装置に入れてから 1 週間後、A は全体的に緑色になっており、B はわずかに緑色になっていた。しかし、C にはカビが生えた。また、A のみジェル状の物質が見られた。B、C は乾燥していた。人工気象装置に入れてから約 4 か月後に A の一部を光学顕微鏡で観察したところ、Fig 1 のような藻類が見られた。A については 2 週間後に緑が一層濃くなり、色はそのまま 7 か月キープした。ただし、ジェル状の物質は 6 か月ほどでなくなった。

3-2. 予備実験 2 の結果

人工気象装置に入れてから 1 週間後に人工種子の外側に粉末状のミドリムシが見られた。人工種子を切断して、光学顕微鏡で観察すると、観察した範囲では何の生物も見られなかった。2.5 か月後には人工種子が乾燥して球体から円に形が変化し、つぶれた。

4. 予備実験の考察

4-1. 予備実験 1 の考察

A で見られた生物は、用いたミドリムシ(Fig 2)と大きさも形も違うため、ミドリムシではないと思われる。フラスコの底に濃い緑のものがたまっていたた

め、この藻類は用いたミドリムシに混入していた生物だと考えられる。また、この藻類はミドリムシよりも紙おむつの環境に適していると言える。

A と B の緑色の濃淡の差は、ハイポネックス水溶液に含まれる養分と水槽の水に含まれる養分の違いだと考えられる。また、B の乾燥が一つの要因かもしれない。

C ではカビが生えてしまったが、これはミドリムシ以外の生物を殺す効果を望んで入れた酢酸が逆にカビなどほかの生物のえさとなってしまう、ミドリムシが捕食されたからだと考えられる。

4-2. 予備実験 2 の考察

人工種子が平面になってしまった原因としては、肥料を与えたときの浸透圧で壊れた、あるいは既に穴が空いていたことが考えられる。そのため、人工種子の中のミドリムシについては、人工種子内の水が枯渇し、生命を維持するのが難しい環境になったと言える。また、人工種子が崩壊したことで、人工種子の中に入れたはずのミドリムシが外側で見られたのかもしれない。

5. 本実験

5-1. 材料と方法

本実験では、ミドリムシと混合していた藻類のほうが紙おむつの環境に合っていることから、この藻類を用いることにした。この藻類は予備実験で用いたミドリムシの入った三角フラスコの沈殿物から採取して用いた。その他の研究試料は予備実験で用いたものと同じものを用いた。

5-2. 本実験 1

5-2-1. 目的

定期的に肥料を加えることが、成長にどのような影響を与えるかを調べる。

5-2-2. 実験

予備実験 1 と同じく、ほぐした紙おむつを直径 7.2mm のシャーレに厚さ 5mm ほどになるように

広げ、紙おむつ内の高分子吸水性ポリマーに水を限界まで吸収させた。そこにミドリムシ 400 μ L、0.1%ハイポネックス溶液を加えた。これを2つ用意し、次のような条件にしてラップで包み、人工気象装置に入れてキープした。

	条件
D	何もしない
E	2週間に1回0.1%ハイポネックス溶液を1.5mL加える

Table 2

5-3. 本実験 2

5-3-1. 目的

肥料は減少した藻類を増やすことができるのかを調べる。

5-3-2. 実験

Aの緑色が徐々に薄まり、藻類が減少したといえるのでこの実験ではAを用いた。

Aを4分の1の量にしたものを2つ用意し、次のような条件にしてラップで包んで人工気象装置に入れてキープした。

	条件
F	0.1%ハイポネックス水溶液 1.5mLを1週間に1回加えた
G	0.1%ハイポネックス水溶液と水をそれぞれ1.5mLずつ1週間に1回交互に加えた

Table 3

5-4. 本実験 3

5-4-1. 目的

藻類は何なのかを調べる。

5-4-2. 実験

Aで見つかった藻類は何かを調べるため、Aと同じ方法を用いて予備実験1で見つかった藻類を増やした。その増やした藻類をすりつぶしたものにメタノールを加えてクロロフィルを抽出し、遠心

分離して上澄みと薄層クロマトグラフィー(展開液として、石油エーテル:アセトン=7:3)を用いた。また、分光計で吸収スペクトラムを分析した。

6. 本実験の結果

6-1. 本実験 1 の結果

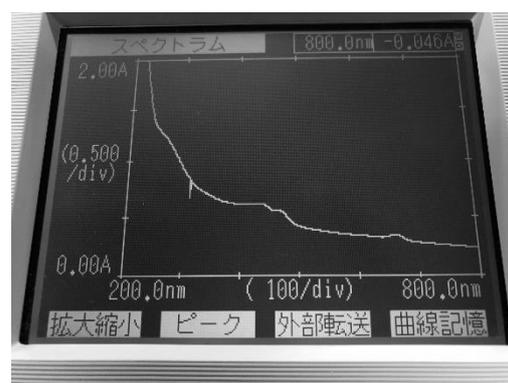
約1.5か月後に観察すると、Dは緑色が濃くならなかった(Fig 3, 4)。一方、Eは緑色が濃くなり、緑色の範囲も広がった(Fig 5, 6)。また、EよりもDのほうが乾燥しており、DにもEにもジェル状の物質は見られなかった。

6-2. 本実験 2 の結果

Fは2週間後(Fig 8)には作成直後(Fig 7)と比べ緑色が濃くなったが、約1か月後には元の濃さに戻った(Fig 9)。Gは作成直後(Fig 10)と比べ、約1か月後(Fig 11)は緑色が薄かった。また、FもGも肥料または水を与える前には乾燥していた。

6-3. 本実験 3 の結果

薄層クロマトグラフィーは Fig 12 のようになり、見つけた藻類のクロロフィルを特定することはできなかった。また、吸収スペクトラムは Graph 1 のようになり、吸収スペクトラムからもこの藻類は何かを調べることはできなかった。



Graph 1

7. 考察

7-1. 本実験1の考察

肥料を与えた方が、成長が促進された。しかし、Dの乾燥を考えると、肥料の有無ではなく、水分を与える頻度によって成長状態が変化したとも考えられる。藻類を確実に育てるためには、乾燥の原因を解明し、対策を講じる必要がある。

7-2. 本実験2の考察

Fの観察(Fig 7~9)から、定期的は無機塩類を与えることにより減少した藻類を一時的に増やすことができた。また、F、Gが肥料または水を与える前に乾燥していた原因として、A~Eより用いた紙おむつの量が少なく、保持できる水の量が小さかったことが考えられる。

7-3. 本実験3の考察

クロロフィルの薄層クロマトグラフィーからも吸収スペクトルからもキープしていた藻類が何かわからなかった原因として、十分な量のクロロフィルが抽出できていなかったと考えられる。大きさから原核生物だと考えられるが、この藻類を特定するためには遺伝子解析等さらに詳しい分析を行う必要がある。

8. まとめと今後の課題

これまで、ミドリムシ及び混入していた藻類のキープの手法について模索してきた。その結果、ミドリムシよりは混入していた藻類のほうが紙おむつの環境に適していると考えられる。この環境で、緑のカーテンを作製するために、障子状にすることを考えた。しかし、障子を作製する過程で環境に負荷をかけることになり、簡素にキープすることが求められる。

また、ミドリムシも混入していた藻類も乾燥が増殖に影響することがわかった。肥料も増え具合に関連すると考えられる。

今後の課題としては、まず乾燥の原因を解明したい。また、Aのみジェル状の物質が現れ、6か月

キープできたことから、ジェル状の物質が長期間のキープに重要な役割を果たしている可能性がある。そのため、ジェル状の物質の発生についても調査したい。最終的には乾燥を防ぐ環境をつくるのが緑のカーテンを作製する上で、鍵となると考えている。今回の実験ではラップを使用したが、劣化によりシャーレとの隙間が生じ、乾燥を招いてしまった。また、ラップは水蒸気だけでなく、空気も閉じ込めてしまうため、光合成を阻害する可能性がある。劣化しにくく、空気を通して水蒸気を通さないフィルムが必要である。混入していた藻類が何なのか特定することができれば、その藻類に近い種からより紙おむつの環境に適した種をみつけられる可能性があるため、この藻類の特定も今後の課題としたい。

9. 参考文献

- Julian Melchiorri, Silk Leaf, 2014.4,
julianmelchiorri.com/silk-leaf, 2018.6.21
- 新潟大学工学部複合微粒子研究室, 人工イクラの作り方(実験用簡易版),
<http://capsule.eng.niigata-u.ac.jp/lecture/open01/index.html#ikura01>, 2018.6.21
- 一般社団法人日本衛生材料工業連合会, 紙おむつの構造,
<http://www.jhpia.or.jp/product/diaper/data/structure.html>, 2018.6.21

10. 添付資料

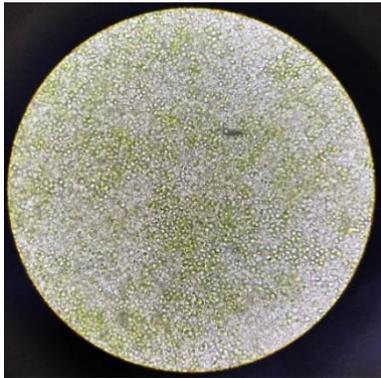


Figure 1 600倍

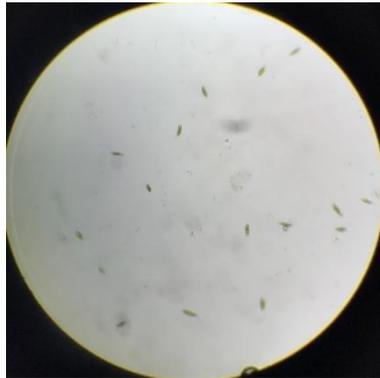


Figure 2 150倍



Figure 3 2018.11.8 撮影



Figure 4 2018.12.20 撮影

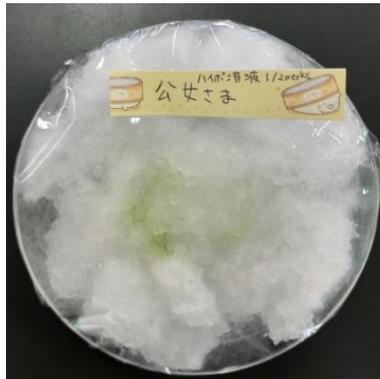


Figure 5 2018.11.8 撮影

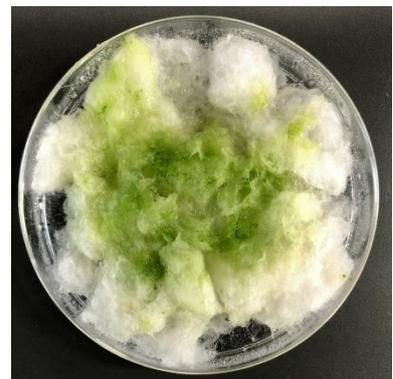


Figure 6 2018.12.20 撮影



Figure 7 2018.11.15 撮影



Figure 8 2018.11.29 撮影



Figure 9 2018.12.20 撮影



Figure 10 2018.11.15 撮影



Figure 11 2018.12.20 撮影

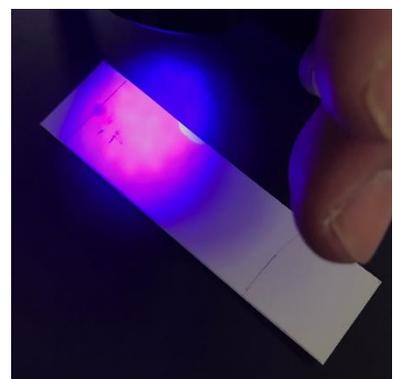


Figure 12

オオクチバスにおける鱗の形態と生息環境の関係

富松由衣 丸田滯音 山田耀裕

要旨

近年、外来魚の急増が在来魚の減少に影響を与えていることが問題視されている。そこで、外来魚でも特に大型である、オオクチバスの年齢や生息環境を従来の耳石を使った方法ではなく、耳石より採集しやすい鱗を用いて、調べることができるのではないかと考え、調査を行った。本研究では、淀川水系に属する滋賀県の琵琶湖内湖の蓮池及び京都府の木津川の支流部よりオオクチバスを採取し、その鱗の輪径及び隆起線の本数から鱗の地域差、鱗と身体的特徴の相関を調べた。その結果、木津川の個体群と琵琶湖蓮池の個体群の持つ鱗の隆起線幅には有意な相関や差異は認められなかったが、鱗の隆起線の本数及び輪径を比較することで、鱗の隆起線数と標準体長に相関があることが明らかになった。このことから、鱗を用いた生息環境調査は一定有効な指標となることが示された。

1. はじめに

淀川流域は日本最古の湖・琵琶湖を主水源に持ち、広大な氾濫原環境を有するという地質的・地理的要因から、純淡水魚類相が極めて豊かな地域として知られる(川瀬ほか, 2017)。しかし、2000年代に入り、オオクチバス *Micropterus salmoides* とブルーギル *Lepomis macrochirus* を中心とした外来魚類が急増し、イタセンパラやヨドゼゼラをはじめとした在来魚類の減少に拍車をかけている(川瀬ほか, 2017)。これは、琵琶湖においてオオクチバス及び、ブルーギルを捕食できる生物種が少ないためである。こうした状況において外来魚、特に大型となるオオクチバスの生態の解明は急務であると考え、本研究では研究対象をオオクチバスと定めた。

先行研究においては、魚類の生態や生息環境を推定するためのアプローチとして、耳石を用いた方法が研究されている(角田, 1997; 今井・野中, 2015; 上原, 2018)。耳石による研究は日輪及び元素分析により、正確なデータが得易い反面、耳石を採集する際に個体を殺傷する必要があるため、同一個体の追跡調査が行えない。また、統計データを収集するためには多くの個体が犠

牲となるため、環境への負荷が大きくなる。さらに、観察分析のために精密な機器を使用する必要があることなどの短所を持つ。

一方で、鱗の隆起線は間隔が広く、一般的な光学顕微鏡でも十分に観察が可能である。さらに、真骨魚類の鱗は物理的外力が加わると脱落することがあり、鱗が脱落した部分には鱗が再生される。そのため、鱗の採取による魚類種や生態系への負荷は小さく抑えられる。また、鱗は魚類によって形態が異なり、かつ魚類によってほぼ形態が一定しているので、分類学上の特徴となり、鱗の表面に現れる鱗紋から年齢や系群などを特定することができる(岸本ほか, 2006)。年齢査定をしながら系群の情報を引き出すことがある程度可能である(伊藤・石田, 1998)。さらに、鱗においても耳石同様、年齢等の個体情報を得ることが可能であり、魚の成長に伴って鱗の隆起線の間隔が形成され、成長の早い時期にはその間隔が広い成長帯を形成し、成長が緩慢な時期にはその間隔が狭い休止帯を形成する(岸本ほか, 2006)。このことから、鱗の鱗紋の特徴はその個体の周囲の環境に影響されると考えられ、鱗紋を調べることでその個体が生息する土地の水温、水質、栄養状態

など生息環境の情報がえられると推測された。したがって、鱗は十分に耳石の代替となる可能性があると考えられる。そこで、本研究では、オオクチバスを用いて、鱗と生息環境の関係について考察を行った。

2. 調査地点

本研究で用いたオオクチバスは、木津川支流部 (Map.1) 及び、琵琶湖内湖の蓮池 (Map.2) にて採取している。この二地点は地理的には接近しているが、木津川支流部は浅い流水域であり、水温が気温の影響を受けやすく、大きく変動する。また、流れがあるため逆らって泳ぐ際には魚体に大きな水の抵抗を受ける。一方、蓮池は前者より深い止水域であり、水温の変動が比較的小さく、魚体を受ける水の抵抗も小さいことから、この二地点の環境に十分な差異があるといえる。さらに、両地点は同じ淀川水系に属するが、ダムにより分断されているため、二つの個体群の間に交雑が起こる可能性はきわめて低いと考えられる。

3. 材料・研究方法

3-1. 研究試料

本研究で用いたオオクチバスは、滋賀県の琵琶湖内湖の蓮池 (Fig.1) から 8 個体、京都府の木津川の支流部 (Fig.2) から 12 個体の合計 20 個体である。琵琶湖内湖の蓮池からの試料は、総合地球環境学研究所から提供を受けた。サンプリングには、三枚網 (横 15m × 縦 1.65m, 外側 12m メッシュ, 内側 30mm メッシュ) 及び、定置網 (袖部: 縦 53cm × 横 165cm, かご部分: 長さ 220cm × 直径 40cm, 3mm メッシュ) を用いて採集された。京都府の木津川の支流部の試料は、著者らが投網 (目数 2000, 丈 4.16m) を用いて採集した。

なお本研究では、計測に用いる鱗はすべて眼の後方のものを使用した (Fig.3)。この理由についてはのちの研究方法及び結果の項目で詳述する。

3-2. 研究方法

本研究の実験タイプは大きく分けて 2 つある。以下、2 つの実験の手順について説明する。

実験 1

①鱗の眼の後方、頭頂部、背鰭の後方、尻鰭の付け根、肛門付近の 5 カ所から各 5 枚ずつ採鱗した。

②光学顕微鏡を用いて各々の鱗を観察し、再生鱗の割合を調べ、最もその割合が小さい地点を採した。

実験 2

①それぞれの個体の全長、標準体長、体高を測定した (Fig.4)。

②それぞれの個体の眼の上の場所から鱗を約 3 枚ずつ採取した。

③採取した鱗を KOH に浸け、付着物を取り除いた。

④アリザリンレッドで染色した。

⑤光学顕微鏡を用いて被覆部隆起線数、露出部隆起線数、被覆部半径を測定した (Fig.5)。

⑥隆起線数比 (被覆部隆起線数 / 露出部隆起線数)、隆起線幅 (被覆部半径 / 被覆部隆起線数) を計算した。

4. 結果

実験 1 より、頭頂部、背鰭の後方、尻鰭の付け根から採取した鱗のほとんどが再生鱗であった。また、肛門付近および眼の後方から採取した鱗は再生鱗の数が少ないという結果が得られたが、肛門付近の鱗は形が扁平で特異的であった。したがって、私たちは実験試料をより手に入れられる、眼の後方から採取した鱗を使うことにした。

実験 2 について、①及び、⑤、⑥により得られた数値を Table1 に示す。次に、木津川と蓮池から採集したオオクチバスの鱗を用いて、平均的な鱗の隆起線幅を算出し、比較したものの結果を Figure6 に示す。Figure6 が示すように、木津川と蓮池の個体が持っている鱗の隆起線幅に有意な差は認められなかった。また、Figure7 から、

標準体長と被覆部半径が比例の相関関係にあることを示している。Figure8 は、全長を標準体長で割った値を比較したグラフであり、標準体長に対する尾の長さの割合を示すものである。Figure8 より、 $t(9)=2.262$, $p>.05$ であり、木津川の個体群と蓮池の個体群の有意差は認められなかったが、一定の傾向が示唆された。このことから、尾の長さの割合は木津川の個体群のほうが比較的大きい傾向が認められる。Figure9 は、体高を標準体長で割った値を比較したグラフである。この値について $t(18)=2.1009$, $p<.05$ であり、木津川の個体群と蓮池の個体群の有意差が認められた。このことから、木津川の個体群のほうが蓮池の個体群に比べ、標準体長に対する体高が低いことがわかる。Figure10 は、鱗のうち露出部における隆起線数と被覆部における隆起線数の差を割合によって比較したものであり、被覆部隆起線数を露出部隆起線数で割った値を比較している。Figure10 より、この値について $t(33)=2.0345$, $p<.05$ であり、木津川の個体群と蓮池の個体群の有意差が認められ、その値は蓮池の個体群のほうが大きいことがわかる。

5. 考察

Table1, Figure6 より、鱗の隆起線の平均値は一定であり、被覆部隆起線数が標準体長に比例していることから、鱗の隆起線は標準体長、すなわち、体の大きさに従って形成されていると言える。

調査をおこなった 2 地点は地理的に接近している。しかし、木津川は流水域であり、蓮池は止水域である、2 地点の水深が大きく異なっている、など環境の差異がみられるが、生息場所のこれらの環境の差異は Table1, Figure6 より、隆起線幅に大きな影響を与えないと考えられる。このことは、当初の、鱗における年輪の形成のメカニズムから成長の地域差は鱗の隆起線の幅に現れるという仮説を否定する結果となった。原因として、鱗の隆起線が標準体長に従って形成されるという特

性のほかに、調査をおこなった 2 地点が地理的に接近していたことが考えられた。しかしながら、木津川は流水域であり、蓮池は止水域であること、水深が大きく異なることなどから水温などの生息環境が同じである可能性は極めて低いと考えられる。

尾部、特に尾鰭と尾柄は多くの魚類で遊泳運動の推進力を生む部分として重要な働きをする(塚本ほか, 2010)。Figure7 が示す通り、標準体長に対する尾鰭の大きさの割合は木津川の個体群のほうが大きく、木津川の個体群の遊泳能力は蓮池の個体群より高いと考えられる。また、魚類の体形は分類の重要な特徴になるばかりでなく、遊泳運動にも密接な関係がある。運動の観点からいうと魚の体形は通常、紡錘形、側扁形、縦扁形、ウナギ形、フグ形に大別される(塚本ほか, 2010)。Figure8 について、本研究で用いたオオクチバスの体形は紡錘形から側扁形に分布していたため、標準体長に対する体高の大きさを比較することで環境が体形に及ぼす評価できると判断した。つまり、この値が大きいほど側扁形に近いといえる。Figure8 より標準体長に対する体高の大きさは蓮池の個体群のほうが木津川の個体群よりも大きく、蓮池の個体群はより側扁形に近いといえ、止水域である蓮池で急な方向転換や遊泳速度を変えるのに適した形であると考えられる。一方、木津川の個体群はより紡錘形に近く、流水域である木津川で水の抵抗が小さく、高速で遊泳するのに適した形であると考えられる。また、木津川は蓮池より水深が浅いため、鳥類や哺乳類などの外敵にさらされやすい環境であることから、遊泳能力が高いと考えられ、地理的な要因がオオクチバスの形態に影響を与えていることも可能性として考えられる。しかし、二つの個体群の体長が大きく異なることから、幼体で体長が小さく捕食者の数が多い木津川の個体群のほうが、逃走の必要性が高くなることから、生物学的な要因が形態に影響を与えた可能性もある。Figure9 より、木津川の個体群に対して蓮池の個体群の鱗の隆起線数比が大

きくなっている。この原因としては、蓮池の個体群は年齢が高く、生息期間が長いことから、鱗の摩耗が大きかったこと、成長過程や生息環境の差異によって形成速度が異なることの二つの要因が示唆されるが、被覆部よりも露出部の隆起線の間隔が広がったことから、形成速度がこの比率によって、大きな影響を与えている可能性が高い。また、形成速度の差異を発生させる原因としては、生息地が異なること、及び、二つの個体群に年齢差があることが考えられる。しかしながら、本研究においては特定に至らなかった。

6. まとめと今後の課題

本研究から、ブラックバスにおいて、鱗の隆起線幅に地域差が見られず、被覆部隆起線数に体長との相関がみられたことから、隆起線幅ではなく、隆起線数に表れているといえる。さらに、隆起線数比は個体群ごとに差がみられており、今後の調査により、パラメータとして利用できる可能性が高い。また、採取時に魚体に与える影響も小さいため、鱗を用いた生息環境調査は一定有効な指標となると考える。そして、体形にも個体差が認められたことから、紡錘形に近いと流水域に、側扁形に近いと止水域に生活していることが分かった。このように体形や鱗の形態等の総合的な評価をすることでより詳細な情報が得られることが期待できる。

また、本研究においては、当年、琵琶湖及び周辺の河川においてブラックバスが激減したことや、ブラックバスの入手経路が少なかったことなどから、試料に偏りがあり、十分な結果とは言えなかった。そのため、試料数の確保は急務であると言える。また、研究の精度を高めるために、調査地域を拡大して地域による違いを調査すること、生息地の環境をより詳しく調査して鱗との関係性を明らかにすることが課題として挙げられる。加えて、異なるアプローチとして、鱗の成分を調べて含まれている元素を分析することで、耳石のように、回遊履歴を知ることができれば、この研究に大きく貢献する

ことが期待される。最後に、今回研究した結果がオオクチバス以外の魚にも共通するかどうかを調査することができれば、今後の魚の調査方法に大きな影響を与えることが期待される。

7. 謝辞

総合地球環境学研究所の上原佳敏研究員には試料を提供していただくとともに、数々の御助言を頂いた。同研究所の岸本紗也加研究推進支援員には研究期間を通して、多大なご指導を頂いた。また、京都府立木津高等学校の田中和大先生には、木津川でのブラックバス採集の際にお世話になった。ここに謝意を表したい。

8. 参考文献

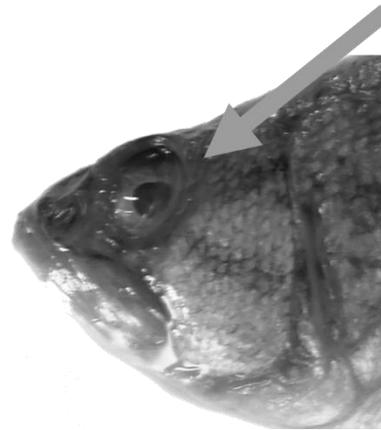
- 安藤和人, 亘真吾, 米沢純爾, 橋本浩, 妹尾浩太郎, 2004, タカベ飼育魚の成長および鱗・耳石の輪紋形成. 東京水試調査研究報告, 213, 77-86.
- 伊藤外夫, 石田行正, 1998, 鱗相によるさけ・ます類の種の同定と年齢査定. 海洋水研法, 35, 131-154.
- 井藤大樹, 田中和大, 小田優花, 細谷和海, 2015, 環境教育における解剖実験用教材としてのブラックバスの利用. 近畿大学農学部紀要, 48, 50-58.
- 今井千文, 野中和賀樹, 2015, 耳石解析によるクサブリの成長過程. *Journal of National Fisheries University*, 63(3), 219-231.
- 上原佳敏, 中村隼人, 高山久弥, 片岡佳孝, 亀甲武志, 根本守仁, 小北智之, 大竹二雄・奥田昇, 2018, 琵琶湖固有種ニゴロブナの出生地回帰性: 耳石 Sr 安定同位体を用いた回遊履歴の復元. 第65回日本生態学会, 2-230.
- 塚本勝己, 2010, 魚類生態学の基礎. 恒星社厚生閣. 80-83.
- 角田出, 1997, 魚類耳石の元素分析による環境塩分履歴の把握. 日本海水学会誌第 51

卷, 4, 247-254.

川瀬成吾, 石橋亮, 内藤馨, 山本義彦, 鶴田哲也, 田中和大, 木村亮太, 小西雅樹, 上原一彦, 2017, 淀川流域における外来魚類の生息状況. 保全生態学研究, 22, 199-212.

岸本浩和, 鈴木伸洋, 赤川泉, 2015, 魚類学実験テキスト. 東海大学出版部, 16-22, 35-37.

採鱗



9. 添付資料



Figure1 木津川採取地点の位置

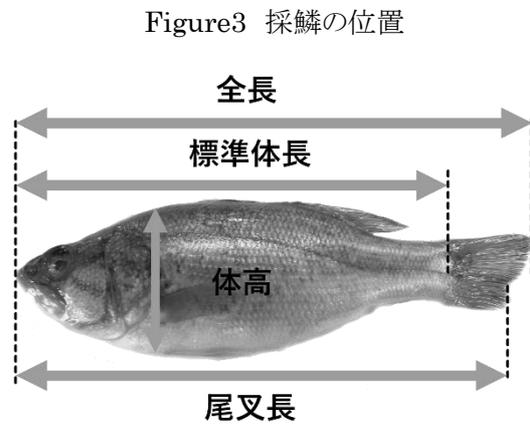


Figure3 採鱗の位置

Figure4 測定項目



Figure2 蓮池採取地点の位置

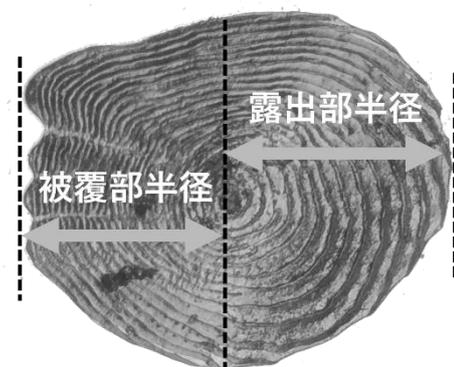


Figure5 鱗半径

Table1 木津川個体群及び蓮池個体群の計測データ

	標準体長 (mm)		全長 (mm)		体高 (mm)		被覆部隆起線数		露出部隆起線数		被覆部半径 (μm)		平均隆起線幅(μm)		隆起線数比	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
木津川個体群	80.8	±9.0	100.3	±10.6	24.4	±3.7	35.4	±6.4	11.6	±2.1	676.8	±134.9	19.2	±2.3	3.1	±0.5
蓮池個体群	183.9	±10.2	222.5	±14.3	61.0	±2.1	95.6	±24.7	20.7	±4.6	1851.6	±346.1	19.8	±2.7	4.6	±0.9

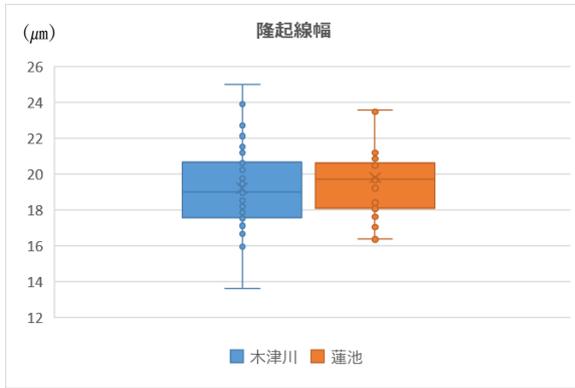


Figure6 鱗隆起線幅

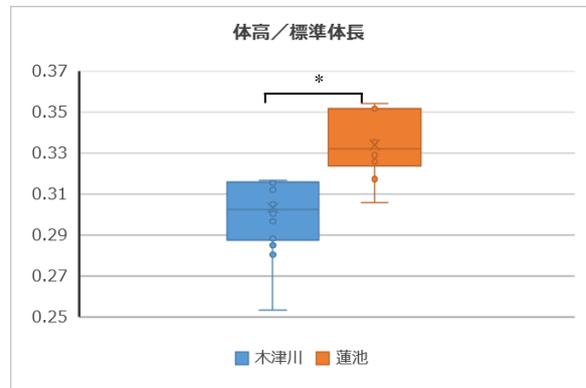


Figure9 体高/標準体長

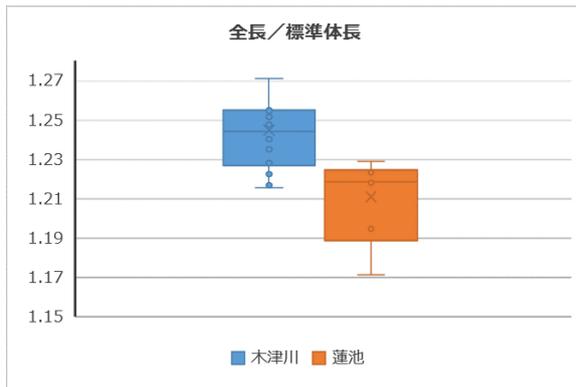


Figure8 全長/標準体長

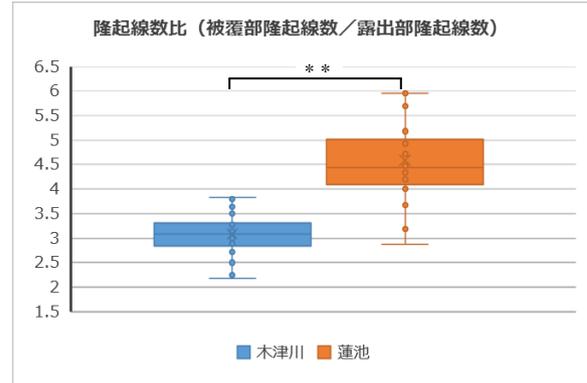


Figure10 隆起線数比

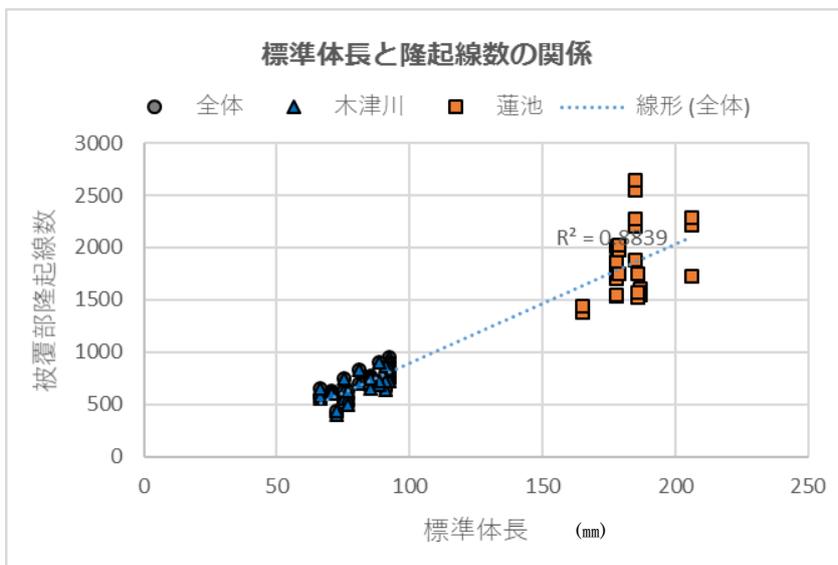


Figure7 標準体長と隆起線数の関係

アンケート調査からみる高校生の Instagram 利用

畑中優月 光永莉菜

要旨

私たちは昨今、急激に利用率が高まっている Instagram (インスタグラム) に着目した。本研究では、仮説「男女における Instagram (インスタグラム) の利用状況には違いがある。」を立て、京都府立洛北高等学校の 2 年生 230 人にアンケート調査をおこない検証した。その結果、対象校の生徒において、Instagram の認知度に対して利用率は低い結果となった。その理由として、大学生や社会人と比べ高校生は写真を撮る機会が少なく、画像共有に特化している Instagram に写真を共有する必要性が少ないためと考えられる。また、男子生徒に比べ女子生徒は Instagram の利用率が高く、積極的に機能を使う傾向にあることが明らかとなった。

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) は人々にとってより身近で、手軽に利用できる存在となってきている。そこで私たちは、自分たちも普段利用している SNS に興味を持ち、調べることにした。

ニールセン デジタル株式会社が 2017 年 9 月 26 日に発表した国内調査の結果によると、Twitter や Facebook などの主要な SNS の中でも、Instagram の利用者数の伸びが最も顕著であることが分かっている (図 1 を参照)。

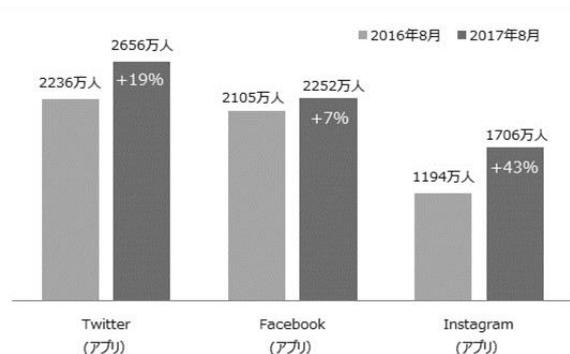


図 1. 各 SNS サービスアプリ利用者数と増加率 (ニールセン株式会社 HP より)

この結果を受けて、私たちは近年の主要な SNS の中でも特に短期間で利用者数が急増している

Instagram について利用における男女差に関する研究を進めることにした。

Instagram とは、月間利用者数が世界で 10 億人を超える (2018 年 6 月発表) 人気の写真・動画共有アプリである。SNS 機能もあり、個人のページを公開できる。インスタ上で見栄えのいい、あるいは閲覧者の目を引く個性的な写真を投稿することは、世間の注目を集めフォロワーを増やすことにつながるため、投稿に向くそのような写真や被写体はインスタ映え (インスタジェニック) と呼ばれ、重宝がられている佐藤優ら (2018)。

Instagram の利用者の年齢分布は以下に示すとおりである (ニールセン デジタル株式会社, 2017)。男女ともに 29 歳以下の利用者数が最も多く、若い世代のほうが Instagram に関心のあることがわかる。

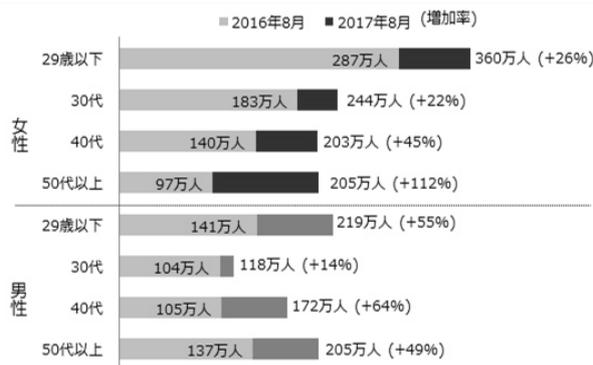


図 2. Instagram アプリ 性年代別利用者数 前年同月比較(ニールセン株式会社 HP より)

これをもとに、若い世代の Instagram 利用について調べるにあたって、同年代で最も身近な存在である高校生を研究対象とした。また図 2 からわかる通り、Instagram の利用者数が男女で大きく異なるという点にも着目し、高校生の Instagram 利用の男女における違いについて研究することをテーマとし、高校生においても男女差が生じると考え、高校生を対象にアンケート調査を行うことにした。

仮説としては、一点目に、高校生の半数以上は Instagram を利用しており、図 2 のグラフから 29 歳以下では女子のほうが利用者数が多いことより、高校生でも同じように女子のほうが利用率が高いのではないかと考えた。二点目に、24 時間で投稿が消えることによる手軽さから、最も頻繁に利用されている機能は「ストーリー」(※)であると仮定した。

(※)「ストーリー」…写真や動画をテキスト、描画ツール、その他の加工機能を使って装飾し、シェアできる機能のことである。ストーリーに投稿したコンテンツは 24 時間限定でシェアされ、期限が切れるとプロフィールやホーム画面には表示されなくなる。

2. 研究方法

高校生における Instagram に対する見解を調査するため、本校 2 年生 230 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 1 では性別について、問 2 では日常的に利用するインターネット端末について複数回答可で質問した。また、問 3 ではインターネット端末の中で最も多い写真の種類について、問 4 では Instagram を知っているかどうかについて質問した。問 5 では Instagram の利用について、問 6 では問 5 で「利用している」と答えた人に対して最もよく利用する Instagram の機能について質問した。問 7,8 では二つの質問を用意し、問 7 では問 6 で「投稿」と答えた人に対して、問 8 では問 6 で「ストーリー」と答えた人に対して、頻度、内容とその理由について質問した。そして、問 9 では問 6 で「他人の投稿を見るだけ」と答えた人に対して投稿しない理由を、問 10 では問 5 で「かつて利用していた」と答えた人に対して利用しなくなった理由と、問 5 で「利用したことがない」と答えた人に対して利用しない理由とこの先 Instagram を利用したいと思うか、またその理由について記述式で質問した。

3. 結果

3-1. データ数と男女比

本校 2 年生 230 人のうち 228 人(うち男子 116 人、女子 112 人)から有効な回答が得られた。

3-2. インターネット端末と写真フォルダ内の画像

日常的に最も使用するインターネット端末を問うた質問(問 2)の結果は、男女総合でスマートフォン 77%、PC・タブレット端末 20%、ガラケー 2%、その他 1%となった。

また、写真フォルダ内で最も多い画像を問うた質問(問 3)の結果は、下のグラフのようになった。

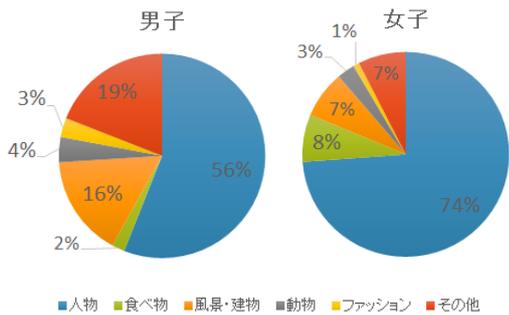


図 3. 男女別の写真フォルダ内画像内訳

3-3. Instagram の認知度と利用率

Instagram の認知度を問うた質問(問 4)に対して、「知っている」と答えた人は全体の 97%となった。しかし、Instagram の利用について問うた質問(問 5)に対し「利用している」と答えた人は全体の 56%となった。

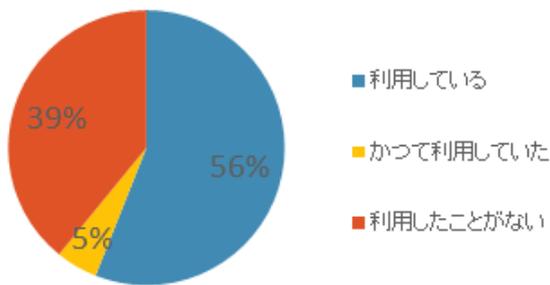


図 4. 洛北高校生の Instagram 利用率

Instagram を利用する男女(男子 112 人, 女子 116 人, 無効 2 人)それぞれについて、Instagram の利用率と各機能の利用の内訳は次のグラフのようになった。

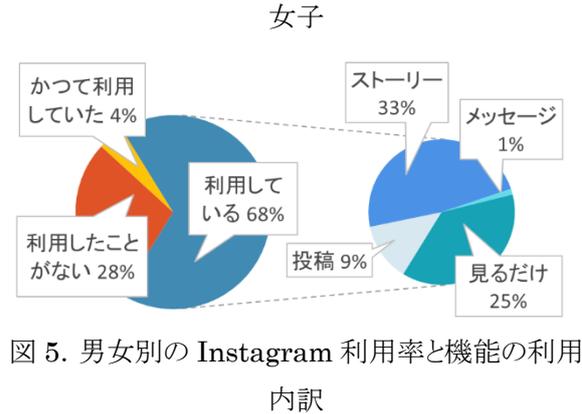
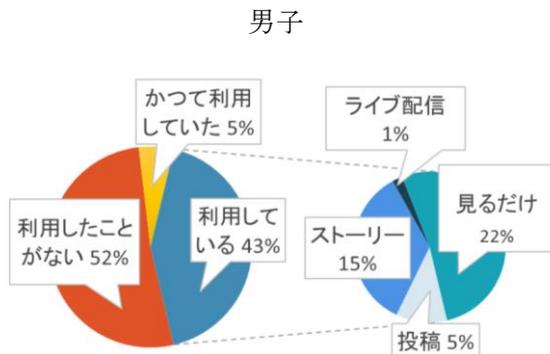


図 5. 男女別の Instagram 利用率と機能の利用内訳

これより、女子のほうが Instagram の利用率が高いことが明らかになった。また、男女ともに「ストーリー」機能が最も頻繁に利用されていることも明らかになった。

3-4. 投稿とストーリーの比較

問 7 では問 6 で「投稿」と答えた人に対して、問 8 では問 6 で「ストーリー」と答えた人に対して、頻度、内容とその理由について質問した。その結果は次のグラフのようになった。

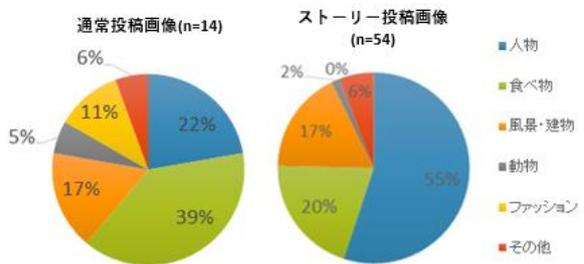


図 6. 投稿とストーリーの画像内訳

3-5. Instagram に対する意欲

問 9 で「他人の投稿を見るだけ」と答えた人の理由としては「面倒」「投稿するものがない」といったものが大半であり、問 10 の「利用していない、しなくなった理由は何か」という問いに対する答えには、「必要ない」「面倒」「使い方がわからない」などがあつた。

また、「今後 Instagram を利用してみたいと思うか」という問いに対し、「思う」と答えた人は全体の 25%となったが、男女で比較すると「思う」と答えた割合は女子のほうが高かった。

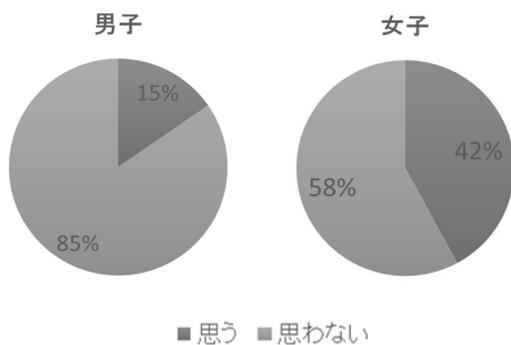


図 7. 問 10 に対する男女別の答えの割合
 ※問 10「今後 Instagram を利用してみたいと思うか」

「利用してみたいと思う」と答えた人の理由には、「楽しそう」「周りの人が利用しているから」「人の投稿を見てみたい」といった声があった。「思わない」人の理由は、ほとんどが「必要ない」「面倒」といったものだったが、「時間を取られそうだから」「Twitter で事足りている」などの理由も見られた。

4. 考察

Instagram の認知度を問うた質問 (問 4) の結果より、Instagram は 97% の生徒に認知されているにもかかわらず、実際に利用している生徒の割合は 56% と、認知度に対しては低い結果となった。この結果と問 9、10 の結果を合わせて考えると、画像の共有に特化したアプリケーションである Instagram を必要としない生徒が一定数いることがわかる。これは、高校生は大学生や社会人に比べ自由に使える時間や行動範囲が狭く、SNS に共有するほどの旅行先や趣味の写真を撮ることが少ないために「投稿するものがない」と感じるからではないかと考えられる。また「インスタ映え」という言葉が 2017 年流行語大賞を取ったことなどから、Instagram にはおしゃれな写真やきれいな写真を載せるものだというイメージが付きまといがちであるため、高校生以外についても言えることだが、投稿をする心理的敷居が

高く敬遠されているのではないかと推測される。

また「ストーリー」機能が最も頻繁に利用されている理由としては、24 時間で投稿が消えるという最大の特性が深く関係しているのではないかと考えた。通常の投稿では一度シェアするとその後もプロフィール画面やタイムラインに残り続けるため、自ら投稿を削除しない限り添付画像や文章が半永久的に閲覧される可能性がある。そのため、それを考慮したうえで投稿内容を考えなければいけない。しかしストーリーの場合は投稿が 24 時間しか表示されないため、通常の投稿に比べ内容に頭を悩ませることなく気軽に投稿することができる。また、問 8 では「ストーリー」を利用する人の理由として「楽しい」「面白い」「その時の自分を表している」「みんなに共有したい」などの回答が得られたため、この機能はその時々自分たちの楽しい瞬間や思い出を周りに共有したいという動機で利用されていることがわかる。

高校生の投稿画像の内訳を問うた質問 (問 7、問 8) より、通常の投稿では食べ物の写真、ストーリーでは人物の写真や動画を投稿する割合が最も高い結果となった。これは、ストーリーでは写真や動画をその場で瞬時に投稿することができるため、動きの多い人物を載せる傾向にあると考えられる。また植田 (2016) によると、大学生が Instagram に投稿する画像の内訳は、「風景や料理の写真」が約 9 割を占めるという。それに比べ高校生の食べ物、風景の写真の割合がそこまで高くないのは、Instagram の利用率が低い理由にも挙げたように、高校生の自由度の低さから非日常的な風景や食べ物の写真を撮る機会が少なく、一番身近な被写体は学校の友達などの人物であるからではないかと推測される。

図 5 より、女子のほうが Instagram の利用率が高く、機能も積極的に利用していることが明らかとなった。鈴木、菅原 (2014) によると、男性に比べ女性のほうが拒否回避欲求が高

いという調査結果が示されている。そのため、周囲の女子に取り残されないように流行にも敏感である必要があり、その結果として、昨今著名な芸能人もアカウントを開設している Instagram を利用するようになったのではないかと考えられる。一方男子の利用率が低くなっている理由として「必要ない」「Twitter で事足りる」という意見が目立った。従来使用していた SNS とは別に、新興の SNS のアカウントを作ることを面倒に感じる男子が多いことがわかる。

5. まとめと今後の課題

今回の研究から、高校生の Instagram の認知度が高い一方で利用者の割合は低いこと、利用者の中では「ストーリー」機能が最も支持されていることがわかった。また女子のほうが Instagram を利用する割合や投稿への関心が高いといえる。植田(2016)によると、大学生が Instagram に投稿する画像の内訳は、「風景や料理の写真」が約 9 割を占めるという。これを受けて私たちは、高校生での結果を調べるためアンケートの質問項目に「写真フォルダの中でもっとも多い画像の種類」「よく投稿する画像の種類」を設置したものの、利用者のデータ数が不十分で分析・考察するまでには至らなかった。また、今回アンケートの対象者が洛北高校の 2 年生 230 名の中で Instagram の利用者が想定していたよりも少なかったため、利用者を対象にした問に対する回答が少なく傾向が偏ってしまった。そのため、京都府のみならず幅広い地域の高校生を対象にすることで、地域による傾向の違いも検討していきたい。

6. 謝辞

この度私たちの研究にあたって、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、本校の先生方、そしてアンケートにご協力いただいた洛北高等学校 2 年生 1～6 組の生徒の皆様に深く感謝いたします。

7. 参考文献

- App store, Instagram 紹介ページ, 2018.10.25
- 植田康孝, 2016, ファッション・コーディネートメディア進化～若者の Instagram 利用急拡大～. 江戸川大学紀要, 26, 141-157.
- 佐藤優ほか, 2018, 現代用語の基礎知識 2019 版, 自由国民社
- 鈴木公啓・菅原健介, 2014, 承認欲求と種々のデモグラフィック要因－性別, 年齢, 体型, 結婚, そして職業－. 東京未来大学紀要, 7, 89-99
- ニールセン株式会社, 2017, Instagram アプリの利用者数は前年から 43%増加し 1700 万人を突破～ニールセン SNS の最新利用状況を発表～.
https://www.netratings.co.jp/news_release/2017/09/Newsrelease20170926.html, 2019.1.10

いけずが人間関係を円滑にする！？

～ 文献調査とインタビューによる検証 ～

内田宗葉 山川詩織 余川恵里

要旨

本研究では、文献調査とインタビュー調査により、京都の伝統的言語文化であるいけずの現状と、いけずと人間関係との関わりについて調査した。その結果、いけずの使用は減少傾向にあるが、京都市内の西陣地域・室町地域等の一部地域ではいけずが現在も使用されており、人間同士の不和の防止に役立つと分かった。このことは、近年の SNS（ソーシャルネットワーキングサービス）等による人的交流の限定化の改善に役立つ可能性を秘めている。

1. はじめに

いけずとは京都市中心部の伝統的な言語文化を指す語であるが、その詳細な定義や意味は、識者等によっても異なり、明確ではない。本研究では、まず文献調査から、いけずとは「京都の歴史的・文化的背景の中で生まれた、相手を傷つけないため遠回しに自分の主張を伝える手段である」と定義づけたのち、インタビュー調査と考察を行った。

近年、相手と対面しない画面上の文字だけの会話、すなわち SNS やメールなどのツールを使用したコミュニケーションが増加したり、以前に比べ近所づきあいがみられなくなっていることから、付き合う人をえり好みしたり、交友範囲が狭小化したりする傾向があるのではないかと考えた。また、京の町家暮らしの意匠会議（2014）において、いけずは相手の体面を守りつつ自分の意思を伝える手段であると述べられていることから、いけずは、人間関係の円滑化や交友関係の広範化の導因の一つであるのではないかと考えた。なお、本研究では、「人間関係が円滑な状態」とは「お互いに、相手に対して嫌な感情は抱かずに言いたいことをいえる状態」と考えている。

2. 研究方法

2-1. 文献調査

本研究では、インタビュー調査を行うにあたって、事前調査として文献調査を行った。いけずや京都弁に関する文献について、主に①いけずとは何か、その目的は何か、②いけずはどのように成立したのか、の以上2点を調査した。

2-2. インタビュー調査

インタビュー調査では、2018年8月から同年11月にかけて、1時間程度のインタビューを行った。インタビューで質問した内容は、主に①いけずとは何か、その目的は何か、②いけずはどのように成立したのか、③いけずと意地悪やいじめは違うか、どのように違うか、④いけずを使うか、どのようなものをだれに使うか、⑤いけずを使われたことはあるか、それはどのようなものか、⑥いけずをめぐって、今と昔で違いはあるか、⑦相手によって話し方を変えるか、の以上7点である。インタビュー協力者は、京都市中京区出身 60代男性 A氏、京都市下京区出身 80代男性 B氏、京都市下京区出身 80代女性 C氏、京都市左京区出身 50代男性 D氏、京都市上京区出身 70代女性 E氏、京都市左京区出身 50代女性 F氏、京都市中京区出身 50代女性 G氏の以上7名である。いけず文化に接している可能性が高いと考えた京都

市出身の50代以上の方にインタビューを行った。

3. 結果

3-1. 文献調査

文献調査の結果として、研究方法の欄に記した2点の調査結果をまとめる。

① いけずとは何か、目的は何か

この項目に関しては多くの言説がなされていた。その中で、最も多く主張されていた説は、「相手を思いやりつつ自分の主張を伝えるための手段である」というものである。例えば、「京都の人は総じてやんわり婉曲に伝えることを好みます。その心に共通するのは、お相手に恥をかかせないこと。そして、さりげなく自分の主張や立場を伝えることです。」(京の町家暮らしの意匠会議, 2014)や、「『上手にものを言う』ということこそ、京都で生きる紳士や淑女たちの、一等だいな素質であった。目のまえの人を傷つけない。みだりに卑下しない。当たらず障らず、アケスケに品が下がることは戒めながら、お互いに結果がよければ言葉の内容や真偽は二の次でもいい。しかも、あくまで真面目に、フザケや軽口ではぐらかしはしない。」(秦恒平, 2012)などがあった。

② いけずはどのように成立したのか

京都の歴史的・文化的背景に起因するという説が多く見られた。例えば、石橋(2014)は「治乱興亡激しく、入れ替わり立ち替わる権力によって、いつ何どき、その立場や位置が変わるか分からないという政治都市ならではの歴史を歩んでもきました。それゆえに、人の立場やその位には神経質なほど気を遣いもしますし、自らの立場やプライドが侵されることを殊に嫌う京都人氣質が形成されたのだと思います。」、「物語や和歌など都ならではの言葉の文化にも大きな影響を受けていることもたしか。援護や掛詞でぼやかしたり『匂わす』ようなもの言い、こちらの本意を相手に『察してもらおう』ことを前提とした言葉使いが京言葉の特徴といえるかもしれません。」と主張し、入江(2005)は「応仁の乱は、京都人を今日の京都人ならしめた

ターニングポイントです。これを機に京都人はイケズになったのでした。つまりは十一年に亘る『人の世、虚し』の乱で市井に下った貴族たちとの交流が、彼らに人間関係の距離感という意識を与えたのです。地に降り立ったとはいえ、殿上人はそれを要求もしたでしょうしね。」と主張している。

3-2. インタビュー調査

インタビュー調査の結果として、研究方法の欄に記した7点の質問の回答をまとめる。

① いけずとは何か、目的は何か

「けんかにならずに真意を伝える」(B氏)等、文献調査で得られた結果と同じような回答が目立った。しかし、「人を試す目的に使うこともある」(F氏)「感情の一つ、嫉妬などを抑えるためのもの」(G氏)等、文献調査とは異なる回答も一定数見られた。

② いけずはどのように成立したのか

文献と同様のものは少なく、「色街の女の戦場から」(A氏)、「いじめから派生」(B氏)等、回答者によって考えが異なっていた。一方で、「天下を取りたいよそ者から自分たちを守る防衛」(D氏)、「町人言葉に由来しているのでは」(E氏)「都で自分の身を守るための処世術」(G氏)という、文献で見られた説との関連がありそうな回答もあった。

③ いけずと意地悪は違うか、どのように違うか

違いの程度については考えに差異があったものの、ほぼ全員がいけずと意地悪は違うものであると回答したが、どのような違いかに関しては、「意地悪は相手を陥れようとするものだが、いけずはそうではない」(A氏)、「意地悪は直接的だが、いけずは頭を使わないと気づけない」(F氏)等、ばらつきがあった。しかし、「いけずを標準語でいうと意地悪」(G氏)というような、いけずと意地悪は同じものだとする回答もあった。

④ いけずを使うか、どのようなものを誰に使うか

いけずは使わない・ほぼ使わないという人が多く、「通じないから」(F氏)という理由があがった。ただ、F氏は、知ったかぶりをしたり厚かましすぎたりする東京の人にはいけずをすることがあると答え

ている。また、「無意識にもしくは日常茶飯事に使っているかもしれない。よく分からない」(G氏)という回答もあった。どのようないけずをするのかという質問に対する回答は、回答者によって全く違っていた。いけずを相手を試す目的で使うこともあるとしたF氏は「上座を勧めて相手の反応を見る」、いけずと意地悪は同義だとしたG氏は「本心を尋ねられても明かさない。意地悪と同じような行動をとる」と答えている。

⑤ いけずを使われたことはあるか、どのようなものか

いけずを使われたことがあるという人がほとんどだった。具体例としては様々なものが挙げられ、「子供のころ、近所の人から『早く帰りなさい』という意味で『はよ帰らなお母さんに怒られるで』と言われた」(A氏)、「老舗の女将から、自身の著書について、『書いていること間違っている』という意味で『よく勉強させてもらいました』と言われた」「ピアノの音がうるさいという意味で『お宅の娘さんこの頃ピアノ上手にならりましたな』」(F氏)等隠された意味があるもの、「字が下手な人に『ものすごく字が上手だ』」(B氏)、「やんちゃな子に対して『賢いですね』」(D氏)等発言と真意が真逆であるもの、「(実際は太っていて臆病である人のことを)『ふっくらしたはっておっとりした娘さんです』」(F氏)等、言葉を言い換えているものなどがあつた。その他、「無視や曲解、告げ口など」(C氏)、「してほしいことをしてくれない相手に対して『いけずやなあ』」(E氏)なども挙げられた。

⑥ いけずをめぐる、今と昔で違いはあるか

昔と今では違うと考えていた人がほとんどだった。しかし、どのような違いかに関しては、いけずの意味の変化と使用頻度・使用人数の変化に分かれた。いけずの意味の変化について、A氏は「親がいけずの本質を知ってものをしゃべっていないためいけずの本質が意地悪へと変わった」と述べている。使用頻度・使用人数は減少傾向にあり、その原因は「ねちねちしたものを嫌う」(D氏)ことや「SNSでの拡散を恐れる」(G氏)ことだとの考

えが見られた。なお、F氏は使用者が減ってきていると述べている一方で、「鉾町では祭りの練習であらゆる世代が一堂に会するため、“おれそれ”(礼儀作法)が学べ、また間近で繰り返されるいけずも目にすることだろうから、いけずが無くなることはないと思う」とも述べている。

⑦ 相手によって話し方を変えるか

人によって話し方を変えるという人が多かった。いけずをするか否かの基準については、「説明しなければならぬときは変える」(D氏)や「地方の人には引かれることがあるのでしない」(E氏)等京都市内出身者だけに使う人と、「友達間では割とはっきりものを言うが、地方から来た人にはたまにする」(F氏)のように京都市外出身者に対して使う人がいた。また、G氏は「価値観の違う人に対していけず心が発生するのではないかと述べていた。

4. 考察

4-1. 文献調査

いけずは基本的に相手の体面を守りつつ自分の主張を伝える目的で使われるものだとする説が多かった。また、時にいたずら心が混じったとしても相手を軽くあしらう程度のいけずにしかならないとする説も見られた。これらより、普段使われるいけずには悪意がなく、意地悪とは別物であると考えた。

また、いけずは、京都市が長期間にわたって日本の首都であった等の歴史的背景、及び和歌等の文化的背景に起因して発生したものだと考える。

4-2. インタビュー調査

いけずは意地悪とは別物だという意見が多かった一方で、本質は一緒だという意見も見られ、いけずと意地悪が別物か否か、さらに、いけずが相手を傷つけないものであるかは一概に言うことはできない。人によって意見が分かれた原因は、2点考えられる。1点目は、「いけずするな」というようにいけずという言葉は教えられても、個別の言動

についてそれがいけずにあたるのかは教えられていないためどのような言動がいけずであると思うかに個人差が出やすいこと、2点目は、どのようないけずを経験したかについては人によって異なるということである。質問④、質問⑤、質問⑦の回答の違いも、これらによるものだろう。

質問⑥の回答では、いけずの意味が変化すると回答した人はいけずと意地悪が別物だと考えている人だった。いけずの使用頻度や使用人数が減少したと回答した人には、いけずが意地悪と同じだと答えた人も違くと答えた人もいた。これらより、いけずの意味合いのとらえ方に関わらず、いけずの使用頻度や使用人数は減少しているといえる。いけずは、喧嘩防止・嫉妬を抑える事が目的のものであるとした人がいた一方で、意地悪と同じだとした人が一定数いたことから、必ずしも人間関係を円滑にする目的でいけずを使用しているとはいえない。しかし、相手を試すことで相手の京都の常識への理解度を知ろうとしていること、また、いけずと意地悪が同じだとした人も、前述のような京都特有の文化の中でいけずは不要ではないと指摘していることから、結果的にいけずは人間同士の不和防止に役立っていると考えられる。

以上より、いけずは、コミュニケーションの希薄化が進行している現在において対人関係をスムーズにする可能性を秘めているといえよう。

5. まとめと今後の課題

今回の研究でいけずについて断言できるような結果はそれほど多く得られなかった。その原因は3点考えられる。1点目は、いけずがそれほど単純なものでなく、短い調査期間の中で十分な情報量を得られるほどのインタビューが実施できなかったことである。2点目は、いけずという繊細なテーマであるがゆえに、協力者と調査者の信頼関係がインタビュー調査の際に影響をきたし、発言を控えたり、遠回しに答えたりする傾向があったことである。3点目は、我々の質問の仕方によって協力者の受け取り方に差が出てしまったことである。このため、幅広

い世代・出身地域の人にインタビューを行う他、参与観察等の信頼関係の差が調査に影響をきたさないようにする方法や、アンケート調査等の質問の仕方を統一できる方法等でも調査を行い、深く考察することが今後の課題だと考えられる。また、3点目に関しては、事前調査が不十分なままインタビュー調査を行ってしまったことも原因であると考えられるため、今後の研究活動においては、事前調査を十分に行いたいと考える。

いけずに対してあまりいいイメージを持っていない人もいるかもしれないが、今後、本研究の結果をもとにいけずの役割等について広く伝え、京都の伝統的言語文化であるいけずの保護と、人間同士の対立防止に努めていきたい。

6. 謝辞

今回の我々の研究活動においてインタビューに協力してくださった7名の方々に貴重な経験をお聞かせいただきました。ここに感謝いたします。

7. 参考文献

- 入江敦彦, 2005, イケズの構造. 新潮社, p186.
京の町家暮らしの意匠会議編, 2014, 京都西陣
イケズで明るい交際術. 新潮社, 134p.
市田ひろみ, 2006, 京都流言いたいがいえる
本, 講談社, 221p.
秦恒平, 2012, 京のわる口. 平凡社, 255p.
石橋郁子, 2004, 京のわる口、ほめころし 京の
不思議と素敵な話. 淡交社, 165p.
山岡裕子編, 2011, 月刊京都 723 号. 白川書
院, 104p.
山岡裕子編, 2015, 月刊京都 763 号. 白川書院,
104p.

大阪城周辺の観光促進に向けて

～外国人観光客とボランティアガイドを対象とした調査から探る～

小山穂乃香 山本真理奈

要旨

本研究では、大阪城周辺での外国人観光客へのアンケートとフリーボランティアガイドの方へのインタビューを行った。その結果、説明パネルの言語の種類や情報量の不足等、大阪城を観光する上での問題点やボランティアガイドの知名度などの課題が明らかになった。解決方法として、ガイドの有料化が挙げられた。

1. はじめに

国土交通省は、近年日本経済における観光産業の存在感が高まりつつあると述べている。2017年の訪日外国人観光客数は2012年と比べると3.4倍に増加し、訪日外国人旅行消費額は実に4.1倍に増加している(観光白書、国土交通省、2018)。また、大阪は「世界渡航先ランキング」における「急成長渡航先ランキング」で2年連続1位に輝いた(Master Card, 2017)。

我々は、近年国際化が進行中の大阪と人を惹きつける魅力を持つ大阪城に興味を持った。大阪のトップの座を保持し続けるため、また、更なる観光産業の促進のために何をすべきなのか。海外旅行の際には渡航先の歴史遺産に足を運ぶことが多いと考え、大阪の中でも著名な観光地である大阪城公園で、外国人観光客に対するアンケート調査とボランティアガイドへのインタビューを行うことにした。

2. 研究方法

本研究では、大阪城を訪れる外国人観光客約30人へのアンケート調査と、大阪観光ボランティアガイド協会に所属する男性ガイドへのインタビューを行った。調査日時は2018年10月13日(土曜日)午後である。また予行調査として、2018年9月17日(日曜日)午前

大阪城公園と天守閣の調査をした。

大阪観光ボランティアガイド協会とは、大阪市と公益財団法人大阪観光局の支援を受けている平成22年に設立されたNPO法人である。主な活動として外国人観光客を対象とした無料ボランティアガイドが挙げられ総ガイド数は18万人を超える。

アンケートの詳細な内容は論文末の余録に掲載する。

3. 結果

3-1. 予行調査結果

パンフレットは日本語、韓国語、英語と中国語が用意されており、どの言語も内容は共通だった。薄い見開き16頁で、フロアマップや各階の簡潔な説明が写真をふんだんに使って紹介されていた。しかし、海外の観光名所で置かれている無料パンフレットと比較すると、内容が薄く得られる情報が少ないように感じる。また、展示パネルは日本語+他言語1種類といった様に言語数が限られていた。

人混みに加え、階段の勾配が急で移動に不便さを感じた。

3-2. インタビューの回答

フリーボランティアガイドの方の話によると、外国人は入城客数の約8割で、ボランティ

アの7割が英語，残りの3割は中国語や韓国語を話すことができると仰っていた。予約制ではなくガイド料金も不要だが，海外ではガイドは基本有料なため，怪しまれガイドの申し出を断られることが多いそうだ。

3-3. アンケート調査の結果

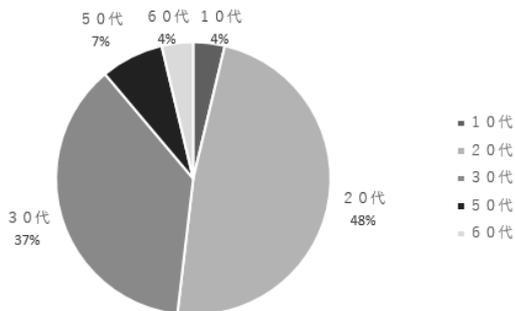


図1 年齢層【問2】

まず，アンケート回答者の年齢について調査した結果について説明する。図1から読み取れるように，10代が占める割合は3%，20代は50%，30代は32%，50代は11%，60代は4%である。つまり，外国人観光客の半数以上が20代以下であることがわかる。今回の調査では外国人であろう観光客に無作為に声をかけアンケート調査を呼びかけたが，調査者が大阪城公園を探索しても20代ぐらいの比較的若いアジア系外国人観光客が多く見られた。

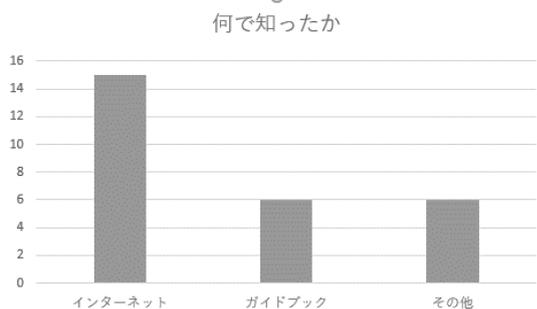


図2 情報の入手手段【問3】

次に，図2より，何で大阪城を知ったかという質問に対してインターネット，次いでガイドブックで情報を得た観光客が多かった。

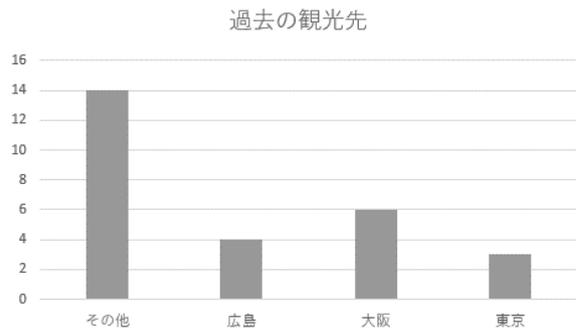


図3 過去の観光先【問6】

また，図3のように，過去の観光先として挙げられた都市として，「大阪」と答えた観光客が多かった。さらに詳しく話を聞くと，「道頓堀」「通天閣」といった大阪の別の観光地から訪れる人が多いことが明らかになった。

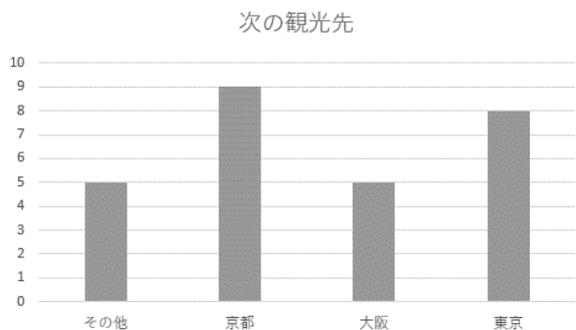


図4 次の観光先【問5】

最後に，図4が示すように，3割の観光客が次の観光地に「京都」「東京」と答えた。

また，問8の「大阪城観光において何か困ったことはあったか」問9の「疑問に思ったことはあるか」問10の「展示パネルはわかりやすかったか」問11の「わかりにくいと答えた場合，具体的にどの箇所がわかりづらいつと感じたか」という質問に対しては「大阪城の詳しい歴史が知りたい」「日本語のみの説明書きにも英語がほしかった」といった声があげられた。

問1の「出身国はどこか」という質問では，無作為に外国人観光客に呼びかけたためまとまった結果が得られなかった。また，問4の「どの展示が最も印象に残ったか。また，最も残念だった展示は何か。」問7の「訪日の目的は何か。」という質問に対しては明確な答えを得ることができなかった。

4. 考察

以上の結果を踏まえて、本研究はガイドボランティアの方の話から活動の知名度に課題を感じ、その点に焦点を絞って大阪城周辺の更なる観光促進のための策を考察した。結果より外国人観光客の半数以上が20代以下であり、インターネットで情報を得た人が多いことから、インターネットで情報を得た若年層が多いと考えられる。調査では、ガイドブックとは異なり費用が掛からない点や持ち運びに苦労しない点から好んで利用されている印象を受けた。若者を中心とした情報網が発達した今、ホームページの作成やSNSでのアピールなど、インターネットを用いた情報発信が効果的ではないかと期待される。

そこで、ガイドの有料化により不信感を払拭し、同時にその得られた利益でガイドボランティアのホームページや広告、また、活動費や大阪城周辺の維持費に回すことで知名度の向上や大阪城の更なる発展を望むことができると考えた。

また、ガイドの知名度が向上し利用が活発になることで問8、9の「大阪城の詳しい歴史が知りたい」「日本語のみの説明書きにも英語がほしい」などの問題も同時に解決できるのではないかと考えた。大阪城の魅力をテーマに実際にポスターやホームページの作成を行いたい。

5. まとめと今後の課題

大阪城周辺で、外国人観光客にアンケート調査と大阪観光ボランティアガイド協会のボランティアの方へのインタビューを行った。その結果、大阪城をより楽しんでもらうための改善点やフリーボランティアガイドの知名度の課題が見つかった。ガイドを有料化し、その売上を利用して広報活動や問題点を改善することができれば、大阪のさらなる観光の発展が期待できるのではないかと考えた。大阪府観光庁に本研究の結果を提出し、効果が見られるかを調査するこ

とで更なる改良へ繋がるのではないかと考える。

調査課題として、アンケート内容が一部研究に沿っていなかった点や調査回数や調査人数の母数が少なかった点が挙げられる。今後の調査ではアンケート内容を改め、複数の都市で多くの外国人観光客を対象にアンケート調査を行い、調査結果を比較することを検討している。

6. 謝辞

大阪観光ボランティアガイド協会のボランティアガイドの方には、お忙しい中お時間を私たちのために割いていただき、貴重なお話をさせていただいたことに深く感謝しています。

7. 参考文献

- 大阪城天守閣, 2018.11.15, 大阪城天守閣,
<https://www.osakacastle.net/>, 2018.11.29
- 大阪府, 2018.11.29, 大阪府,
<http://www.pref.osaka.lg.jp/kanko/toukei/index.html>, 2018.11.29
- 産経 WEST, 2017.10.12, 経済裏読み,
<https://www.sankei.com/west/news/171012/wst1710120009-n3.html>, 2018.1.29
- 大阪観光ボランティアガイド協会, 2019.01.24, 大阪観光ボランティアガイド協会,
<https://ovgc.jp/info.html>, 2019.01.31
- 国土交通省, 2019.2.07, 経済白書,
<http://www.mlit.go.jp/statistics/file000008.html>, 2019.02.07

8. 余録(アンケート内容)

1. Where are you from?
2. If you don't mind, please tell me your age.
3. How did you know Osaka-Castle?
4. What is the most

impressive/disappointed exhibition?

5. Where is your next tourist site?
6. Where did you visit before (during your stay in Japan)?
7. What the purpose of your visit?
8. Did you have any trouble both inside and outside of Osaka-Castle?
9. Do you have any question (doubt) about Osaka-Castle? (What do you want to know about Osaka-Castle?)
10. There are many display panels written in English, Chinese and Korean. Do you think they are understandable?
11. (If he/she answer 10 "NO") What kind of points did you find difficult to understand, exactly?

放物線を球に写した時の形

山地 歆菜

要旨

本研究では地面に描いた放物線を見た時の形を知るということを目的として実験を行った。すると、見た時の形は楕円に近いとわかった。その他の曲線についても調査した。

1. はじめに

放物線を肉眼で見た時の形を調べた。人が物を認識する場合、距離ではなく、角度のみが関係してくるので、人間の視点を球の中心として、平面に放物線を描き、それが球の表面に写った形を人間が見た時の形だとした。

2. 研究方法

2-1. 球面に写る形の計算

まずは、平面 $z = h$ 上に描かれる放物線 $y = x^2$ を描いたと設定した。放物線上の点をP, 球上の点をQとし、それぞれ変数を用いて

$$P(t, t^2, h), Q(kt, kt^2, kh)$$

と表す。ベクトルを用いて計算すると、Qの座標は、

$$Q\left(\frac{t}{\sqrt{t^2+t^4+h^2}}, \frac{t^2}{\sqrt{t^2+t^4+h^2}}, \frac{h}{\sqrt{t^2+t^4+h^2}}\right)$$

となる。この点は、 $t \rightarrow \infty$ で $(0,1,0)$ に収束する。このことは、三次元極座標

$$(\cos \varphi \cos \theta, \sin \varphi, \cos \varphi \sin \theta)$$

を用いても証明できる。Qの軌跡をMathematicaを用いて表示すると、図1ようになる。

ここで、Qの x 座標を $f(t)$, y 座標を $g(t)$ として xy 平面上に $x = f(t)$, $y = g(t)$ として描くと、この曲線の方程式は、

$$y^4 + x^2y^2 + x^4h^2 - y^2 = 0$$

である。

2-2. 曲率の計算

$$Q\left(\frac{t}{\sqrt{t^2+t^4+h^2}}, \frac{t^2}{\sqrt{t^2+t^4+h^2}}, \frac{h}{\sqrt{t^2+t^4+h^2}}\right)$$

の軌跡において、 $t = 0$ 地点と $t = \pm\infty$ における曲率を計算した。曲率は、

$\overline{OQ} = (a(t), b(t), c(t))$ として、変数 s を

$$s(t) = \int_0^t \sqrt{a'(u)^2 + b'(u)^2 + c'(u)^2} du$$

(このとき、 $\left|\frac{d\vec{v}}{ds}\right| = \left|\frac{da}{ds}, \frac{db}{ds}, \frac{dc}{ds}\right| = 1$ が保証される)と

定義した時

$$\left|\frac{d^2}{ds^2} \vec{v}\right| = \left|\left(\frac{d^2a}{ds^2}, \frac{d^2b}{ds^2}, \frac{d^2c}{ds^2}\right)\right|$$

として計算できる。

2-3. 新たな平面への射影

次に、球面上に写った形の平面 $z = y + \sqrt{2}h$ への射影をとる。ここでの新たな平面で X, Y を軸とする座標を考え、曲線の方程式を考察する。

2-4. 他の放物線との比較

最後に $y = x^2$ ではなく、 $y = \tan x$, $y = \cosh x$ などの様々な形を平面に写し、2-1, 2-3の方法で、平面 $z = y + \sqrt{2}h$ に写し、比べた。

3. 結果

3-1. 新たな平面への射影の結果

$y = x^2$ を球に写した時の形は図1のようになる。
曲率は $t = \pm\infty, t = 0$ 地点で等しくなった。そして

2-3 で楕円のような形になった。X, Yを直角座標軸としたとき

$$\frac{Y^2}{h^2} - \frac{2X^2}{h} = 1$$

となり、形は図7になる。

3-2. 様々な放物線との比較の結果

様々な形を 2-4 の方法で平面に写すと、

$y = \tan x$ のとき図2.3

$y = \cosh x$ のとき図4

$y = x^8$ のとき図5

$y = x^4$ のとき図6 となった。

グラフの比較については、ベクトルの図8のように、

$t = 100$ での軌跡の速度ベクトルと

$t = -100$ での速度ベクトル、および $t = \pm 200$ に

おける速度ベクトルのなす角 θ の \cos を計算した。

	$t = \pm 100$	$t = \pm 200$
$y = \cosh x$	-0.99918	-0.99980
$y = x^2$	-0.99661	-0.99915
$y = x^4$	-0.99858	-0.99965
$y = x^6$	-0.99896	-0.99971
$y = x^8$	-0.99914	-0.99974

表 $\cos \theta$ の値

値は、小数点第6位で四捨五入している。

4. 考察

3-1 の結果は円錐曲線によって説明できる。3-2 増加速度が速い関数であるほどその地点での内積が-1に近づく、つまり、 $t = \pm\infty$ において、2本の直線の交わる角度が狭くなっていくと考えられる。

5. まとめと今後の課題

今後の課題としては、実際にどんな形になっているのかがわかるような装置をつくるということが挙げられる。

6. 添付資料

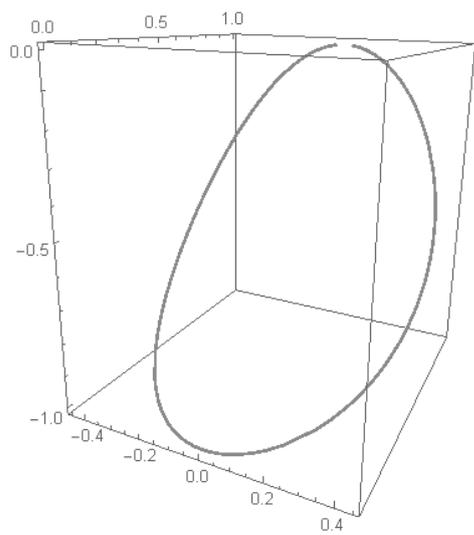


図1

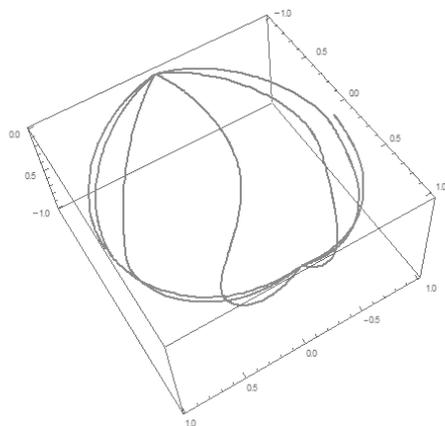


図2

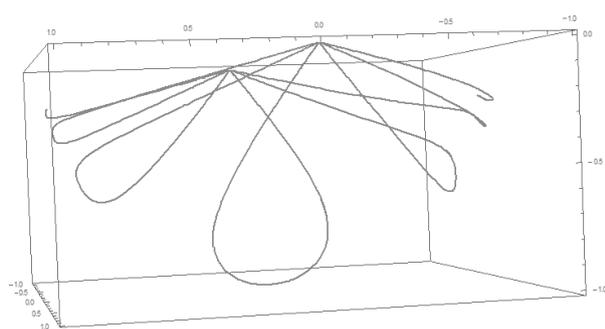


図3

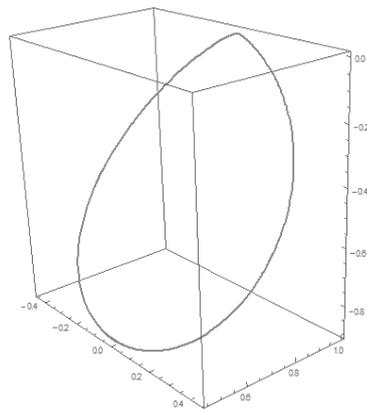


図4

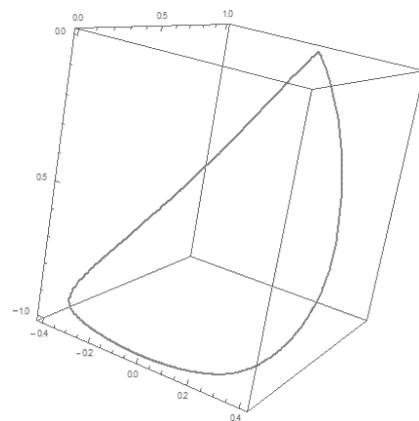


図5

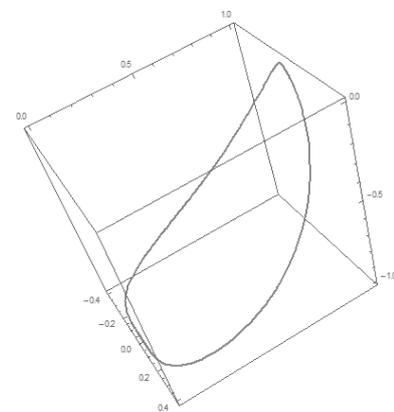


図6

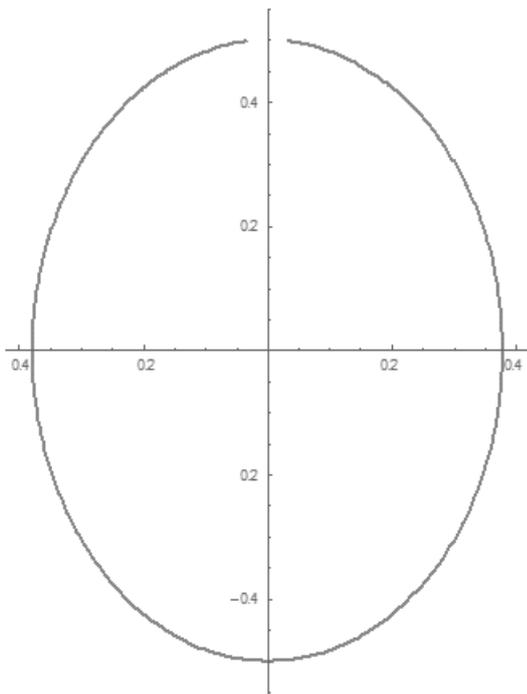


图7

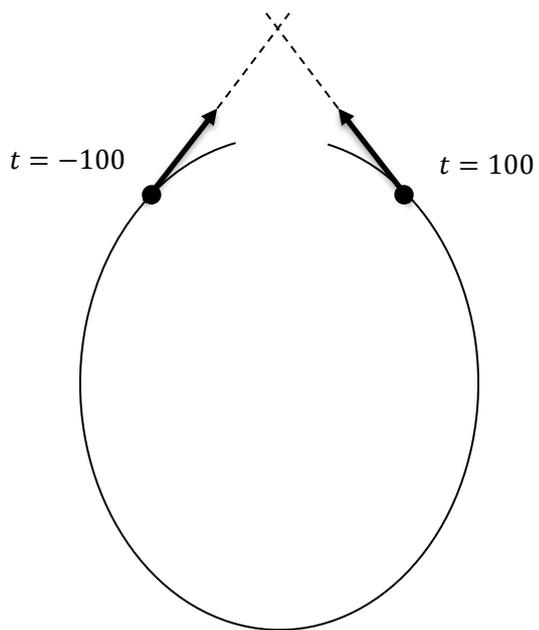


图8

XとYを等価値に扱う近似直線

保家 大将

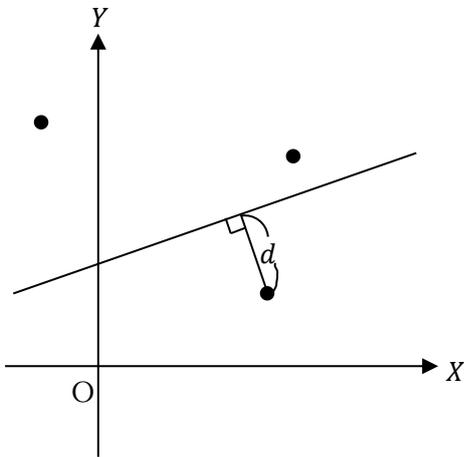
要旨

本研究では点と直線の距離の公式を利用して近似直線を求める。通常近似直線を求めるためには最小二乗法を用いるが、それは変数 X に対して従属する変数 Y を予想するとき用いるもので X と Y を等価値に扱っていない。そこで複数の点を図形的に直線で近似することで、 X と Y を等価値に扱い、直線の係数を決定する。

1. はじめに

本研究を進めるにあたって複数の点の近似方法を調べてみたところ、図形的な近似法というのはいま見られなかった。そこで、図形的な近似には最小二乗法と比べて良い点があるのかどうかも研究対象である。

2. 研究方法



(i) 二次元において近似直線の方程式を $Y=aX+b$ とおいて、それぞれの点と $Y=aX+b$ の距離 d を考え、 $\sum d^2$ を最小化する a, b を求める。

n 点の座標を

$$a_1(x_1, y_1), a_2(x_2, y_2), \dots, a_n(x_n, y_n)$$

とする。ただし、この n 点の重心は原点にあるもの

とする。このとき

$$\begin{aligned} & \sum d^2 \\ &= \sum_{k=1}^n \frac{(ax_k - y_k + b)^2}{a^2 + 1} \\ &= \sum_{k=1}^n \frac{a^2 x_k^2 + y_k^2 + b^2 - 2ax_k y_k - 2by_k + 2abx_k}{a^2 + 1} \\ &= \frac{a^2 A - 2aB + C + 4b^2}{a^2 + 1} \end{aligned}$$

(ここで

$$A = \sum_{k=1}^n x_k^2, B = \sum_{k=1}^n x_k y_k, C = \sum_{k=1}^n y_k^2$$

とした。)

$\sum d^2$ を最小化する a, b を求めると次のようになる。

$$a = \begin{cases} \frac{2B}{A-C+\sqrt{(A-C)^2+4B^2}} (B \neq 0) \\ \pm\infty (A < C \text{ かつ } B = 0) \\ 0 (A > C \text{ かつ } B = 0) \end{cases}, b = 0$$

すべての実数 ($A = C$ かつ $B = 0$)

(ii) N 次元の場合で考える。近似直線を

$$l: t(a_1, a_2, \dots, a_N) \left(\text{ただし } \sum_{k=1}^N a_k^2 = 1 \right),$$

n 点の座標を

$$P_i(b_1^{(i)}, b_2^{(i)}, \dots, b_N^{(i)}) (i = 1, 2, \dots, n)$$

とすると I と P_i の距離の二乗は、

$$\begin{aligned} d_i^2 &= \sum_{k=1}^N (a_k t - b_k^{(i)})^2 \\ &= t^2 - 2 \sum_{k=1}^N (a_k b_k^{(i)}) t + \sum_{k=1}^N (b_k^{(i)})^2 \end{aligned}$$

となる。これは、

$$t = \sum_{k=1}^N a_k b_k^{(i)}$$

で最小値

$$\sum_{k=1}^N (b_k^{(i)})^2 - \left\{ \sum_{k=1}^N a_k b_k^{(i)} \right\}^2$$

をとる。よって

$$\sum d_i^2 = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{k=1}^N (b_k^{(i)})^2 - \left\{ \sum_{k=1}^N (a_k b_k^{(i)}) \right\}^2 \right)$$

ここで

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^N (b_k^{(i)})^2$$

は定数なので、

$$\sum_{i=1}^n \left\{ \sum_{k=1}^N (a_k b_k^{(i)}) \right\}^2$$

を最大化する (a_1, a_2, \dots, a_N) が求める直線の傾きとなる。

3. 結果

(i) 二次元において近似直線の方程式を

$$Y = aX + b,$$

点の座標を

$$a_1(x_1, y_1), a_2(x_2, y_2), \dots, a_n(x_n, y_n)$$

とする。ただし、この n 点の重心は原点にあるものとする。このとき (a, b) は以下ようになる。

$$a = \begin{cases} \frac{2B}{A - C + \sqrt{(A - C)^2 + 4B^2}} (B \neq 0) \\ \pm \infty (A < C \text{ かつ } B = 0) \\ 0 (A > C \text{ かつ } B = 0) \\ \text{すべての実数} (A = C \text{ かつ } B = 0) \end{cases}, b = 0$$

(ii) N 次元の場合。近似直線を

$$l: t(a_1, a_2, \dots, a_N) \text{ (ただし } \sum_{k=1}^N a_k^2 = 1)$$

とし、 n 点の座標を

$$P_i(b_1^{(i)}, b_2^{(i)}, \dots, b_n^{(i)}) (i = 1, 2, \dots, n)$$

とすると

$$\sum_{i=1}^n \left\{ \sum_{k=1}^N (a_k b_k^{(i)}) \right\}^2$$

を最大化する (a_1, a_2, \dots, a_N) が近似直線の傾きとなる。

4. 今後の課題

二次元の時は近似直線が原点を通ることを示すことが出来たが三次元以上の時は証明をしていないため、証明しなければならない。そのときは直線の方程式を

$$l: t(a_1, a_2, \dots, a_n) + (b_1, b_2, \dots, b_n)$$

として $\sum d^2$ を計算して、

$$b_1, b_2, \dots, b_n = 0$$

を導かなければならない。

またこの近似法が、最小二乗法と比べてどのようなメリットを持つのかに関しては今回明らかにかにすることができなかった。

5. その他

行列を利用して直線の式を出せることが分かっている、

$$(1,3,6), (-3, -5, 0),$$

$$(2, -4, 7), (8, 1, -3)$$

の四点の場合で実際に近似直線を求めてみると以下のようなになる。

求める直線 l を媒介変数 t を用いて

$$(x, y, z) = t(a, b, c)$$

と表す。 $A(x, y, z)$ と直線上の点 P との距離を考えると、 AP が最小となる時、直線 l の方向ベクトル

$$\vec{d} = (a, b, c). \quad (\text{ただし} |\vec{d}| = 1)$$

に対して $\vec{d} \cdot \vec{AP} = 0$ なので

$$(a, b, c)(at - x, bt - y, ct - z) = 0$$

$$t = ax - by - cz$$

よって

$$t = ax - by - cz$$

のとき AP は最小となる。

このとき

$$\begin{aligned} & \sum d^2 \\ &= \sum \{(ax - x)^2 + (by - y)^2 + (cz - z)^2\} \\ &= \sum x^2 + \sum y^2 + \sum z^2 \\ & - (a^2 \sum x^2 + b^2 \sum y^2 + c^2 \sum z^2 \\ & + 2ab \sum xy + 2bc \sum yz + 2ca \sum zx) \end{aligned}$$

$$\sum x^2 + \sum y^2 + \sum z^2$$

は定数であるから

$$D = a^2 \sum x^2 + b^2 \sum y^2 + c^2 \sum z^2$$

$$+ ab \sum xy + 2bc \sum yz + 2ca \sum zx$$

の最大値を与える (a, b, c) が求める直線となる。点が

$$(1, 3, 6), (-3, -5, 0),$$

$$(2, -4, 7), (8, 1, -3)$$

の場合

$$D = 78a^2 + 51b^2 + 94c^2$$

$$2 \cdot 18ab + 2 \cdot (-13)bc + 2 \cdot (-4)ca$$

となる。この二次形式に対応する対称行列

$$A = \begin{pmatrix} 78 & 18 & -4 \\ 18 & 51 & -13 \\ -4 & -13 & 94 \end{pmatrix}$$

の固有値 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ と固有ベクトルを考える。

$\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3$ とすると

固有値は

$$\lambda_1 = 101.6 \dots, \lambda_2 = 81.2 \dots, \lambda_3 = 40.1 \dots$$

それぞれの固有値に属する固有ベクトルを

$$\vec{e}_1 = (e_{1,x}, e_{1,y}, e_{1,z})$$

$$\vec{e}_2 = (e_{2,x}, e_{2,y}, e_{2,z})$$

$$\vec{e}_3 = (e_{3,x}, e_{3,y}, e_{3,z})$$

とすると、

$$\vec{e}_1 = (-0.41 \dots, -0.36 \dots, 0.83 \dots)$$

$$\vec{e}_2 = (0.81 \dots, 0.26 \dots, 0.51 \dots)$$

$$\vec{e}_3 = (-0.40 \dots, 0.89 \dots, 0.18 \dots)$$

となり、ここで

$$X = \frac{\vec{e}_1}{|\vec{e}_1|} \cdot (a, b, c) = \frac{1}{|\vec{e}_1|} (e_{1,x}a + e_{1,y}b + e_{1,z}c)$$

$$Y = \frac{\vec{e}_2}{|\vec{e}_2|} \cdot (a, b, c) = \frac{1}{|\vec{e}_2|} (e_{2,x}a + e_{2,y}b + e_{2,z}c)$$

$$Z = \frac{\vec{e}_3}{|\vec{e}_3|} \cdot (a, b, c) = \frac{1}{|\vec{e}_3|} (e_{3,x}a + e_{3,y}b + e_{3,z}c)$$

とすると

$$X^2 + Y^2 + Z^2 = 1$$

かつ

$$D = \lambda_1 X^2 + \lambda_2 Y^2 + \lambda_3 Z^2$$

であり, 条件

$$X^2 + Y^2 + Z^2 = 1$$

を満たす (X, Y, Z) の組のうち D を最大にするものを求めればよいことがわかる.

これは $(X, Y, Z) = (\pm 1, 0, 0)$ で最大値をとるので求める直線は

$$\begin{cases} \frac{1}{|\vec{e}_1|} (e_{1,x}a + e_{1,y}b + e_{1,z}c) = \pm 1 \\ \frac{1}{|\vec{e}_2|} (e_{2,x}a + e_{2,y}b + e_{2,z}c) = 0 \\ \frac{1}{|\vec{e}_3|} (e_{3,x}a + e_{3,y}b + e_{3,z}c) = 0 \end{cases}$$

の解

$$\begin{cases} a = -0.41 \dots \\ b = -0.36 \dots \\ c = 0.83 \dots \end{cases}$$

のときである.

6. 参考文献

最小二乗法 (直線) の簡単な説明, 2015.11.6,
<https://mathtrain.jp/leastquares>, 2018.5.7

出る目の確率が同様に確からしい7面ダイスの作成

大杉祐斗 中井朝紀 藤原優香

要旨

本研究では7面ダイスを3Dプリンターを用いて作成し、実際に振ることで確率が同様に確からしいかどうか検証した。

1. はじめに

正六面体や正八面体は存在するが、正七面体は存在しない。出る目の確率が同様に確からしい7面ダイスを作るという目的で本研究を行った。凸な七面体のうち本研究では六角錐、五角柱、三角柱の上に三角錐をのせた七面体の三種類を検証した。

2. 研究方法

2-1. 考えた多面体

位相的に異なる凸な七面体は34種類ある。そのうち本研究で六角錐(画像1)、五角柱(画像2)、三角柱の上に三角錐をのせた七面体(画像3)の三種類を検証した理由は、六角錐と五角柱はそれぞれの高さを調整することによって出る目の確率が同様に確からしくなる点があるからである。三角柱の上に三角錐をのせた七面体は数式処理システム Mathematica における座標設定の容易さを考慮した。

2-2. 仮説

ダイスの出る面が決定する直前にその面の周囲の辺が接地する。そこで、辺の接地する確率が等しくなれば面が出る確率も等しくなると考えた。

以下の2つの仮説を立てた。

(仮説①)各面の辺の長さの合計が等しいとき出る確率が等しくなる。

(仮説②)各面の面積が等しいとき出る確率が等しくなる。

2-3. 実験方法

Mathematica で仮説1, 2をそれぞれ満たすような七面体の頂点の座標を設定し、そのデータを基に3Dプリンターでダイスを作成した。

まず500回振り、ダイスの1つの面に注目してその面が出た比率を標本比率とした。その標本比率の95%信頼区間に1/7が入っているか確認し、入っていればさらに振る回数を増やし18816回(下記の95%信頼区間が1%以下になる回数)まで振る。ここで、今回調べた六角錐と五角柱はそれぞれ直錐体、直角柱で、構成する面は2種類である。そのためこの2種類の立体については1つの面が出る確率が1/7であればすべての面が出る確率は1/7である。よって1つの標本比率のみを用いた。一方三角柱(直角柱)の上に三角錐(直錐体)をのせた七面体は、構成する面が3種類であるため、2種類の面の標本比率を用いた。

このとき30cmの高さからダイスを落とした。

また、ダイスを振った際に接地面を出た面とした。

95%信頼区間は以下の通りである。

$$\left[R - 1.96 \sqrt{\frac{R(1-R)}{n}}, R + 1.96 \sqrt{\frac{R(1-R)}{n}} \right]$$

(R :標本比率, n :標本の大きさ)

R:標本比率は、(1が出た回数/振った回数)とする。

振る立体の名称について

- ・六角錐(仮説①)...A(画像 1)
- ・六角錐(仮説②)...B(〃)
- ・五角柱(仮説①)...C(画像 2)
- ・五角柱(仮説②)...D(〃)
- ・五角柱(仮説①, 新)...E(〃)
- ・五角柱 1...F(〃)
- ・七面体 1...G(画像 3)
- ・七面体 2...H(〃)

と定めた。

ここで、五角柱 1 とは一辺の長さが等しいもので、七面体 1 とは三角柱の上に三角錐をのせた七面体で各面の面積が等しいものである。七面体 2 は七面体 1 の三角柱の高さを $5/4$ にしたものである。五角柱(仮説①, 新)とは、五角柱(仮説①)の高さを $17/20$ にしたものである。

3. 結果

結果は以下の表の通りである。

	回数	95%信頼区間	可能性があるか
A	18030	[0.1442,0.1546]	なし
B	120	[-0.0079,0.0245]	なし
C	1003	[0.0684,0.1030]	なし
D	300	[0.0375,0.0784]	なし
E	19064	[0.1374,0.1473]	あり
F	500	[0.1969,0.2711]	なし
G	500	a [0.1649,0.2351]	なし
		b [0.1005,0.1595]	
H	500	a [0.0511,0.0969]	なし
		b [0.1575,0.2265]	

ここで a は七面体 1, 2(画像 3)において側面の三角形が出た平均の回数を, b は底面の三角形の出た回数を用いて導いた信頼区間である。

E を 500 回振った時点で 95%信頼区間に $1/7$ が入っていたので, さらに約 2000 回振り計算することを繰り返した。そして 14564 回振り終わっ

た時点で 95%信頼区間に $1/7$ が入っていたので 18816 回に達するように十分な回数振った。

4. 考察

以上の結果から立てた2つ仮説は正しくなかった。しかし E のダイスの一面の標本比率の 95%信頼区間の幅が 1%未満であり, かつこの区間に $1/7$ が入っているので, 通常の用途に耐える, 出る目の確率が同様に確からしい 7 面ダイスを作ることができた。

5. まとめと今後の課題

今後は G の三角柱の高さを調整したものを作成する。また, 他の七面体についても同様に検証する。

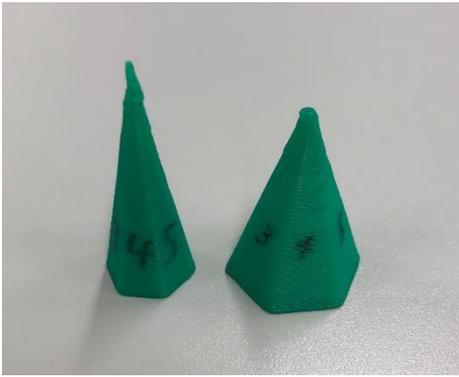
6. 参考文献

P. J. Federico, 1969, Enumeration of

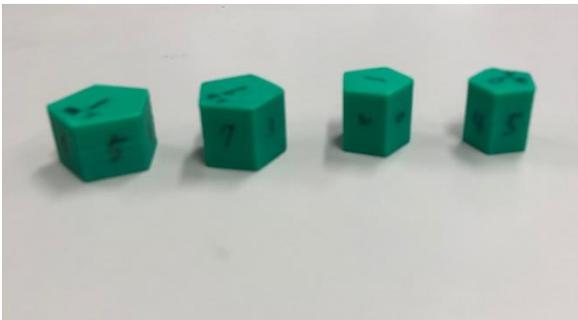
polyhedra: The number of 9-hedra, 157p

永尾 汎・岡部恒治編, 2012, 体系数学5. 数研出版株式会社, 309p

7. 参考資料



↑画像1 (右 A, 左 B)



↑画像2 (右から順に D, C, E, F)



↑画像3 (右 G, 左 H)

平成 30 年度スーパーサイエンスハイスクール
研究活動報告集

平成 31 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