

令和2年度 スーパーサイエンスハイスクール 生徒課題研究論文集



36年目を迎えた島田川水質調査

徳山高校では、毎年、地域の水源地である島田川を水質調査しています。調査項目はpH、アルカリ度と酸度（滴定）、アンモニア態窒素（吸光度測定）、硝酸態窒素（吸光度測定）、塩化物イオン（滴定）、硫酸イオン（滴定）化学的酸素要求量（滴定）、硬度（滴定）リン酸（吸光度測定）の9項目にも及びます。17測定点の水質を丸1日かけて徹底的に調査してレポートにまとめます。計画、準備、実施、後片付け、まとめ。積み重ねた歴史は徳山高校の伝統となり、化学実験の修行場となりました。「徳山高校が地元の水資源を守っている」地域の方に言われた一言です。



令和3年3月
山口県立徳山高等学校

令和2年度

スーパーサイエンスハイスクール課題研究論文集



山口県立徳山高等学校

目 次

	ページ
はじめに	1
2年次課題研究論文	
自然現象とお産の関係	2
落下する物体における落下速度の減衰について	6
A I で心霊写真を科学する	10
緑茶の発酵と殺菌の関係性	14
バイオ燃料電池の実用化	18
バナナを甘くする方法	22
植物に対するミミズの嗜好性	26
バッタおよびダンゴムシの異なる波長の光に対する反応	30
プラセボ効果の学習への応用	34
科学部校内科研費採択研究論文	
2つのA I を用いた打音による検査システムの開発	38
A I と脳波で集中力を可視化する	47
ー人工知能による学習効率向上システムの開発ー	
メビウスの輪とその拡張	56
加速度から動きを判定する装置の開発	60
感情を可視化するペンライトの開発	64
青銅を科学する	68
調味料によるサビの除去	72
光に対しての淡水魚の反応	76
微生物は川の指標になるのか？	80

はじめに

山口県立徳山高等学校は、今年度改めて文部科学省よりスーパーサイエンスハイスクール（以下SSH）に指定されました。これまで10年間継続して実践した様々なSSHの取組は、地域の方々、企業、大学、保護者、卒業生など多くの方に支えられながら成熟し、学校の特色を形成するまでに成長しました。現在、第3期の初年度を迎え、課題研究を中心とする様々な事業を展開しています。

今回は特に「校内科研費」の設立が目新しい取組となります。これは、本気で科学研究をしたい生徒を金銭的に支援する校内制度で、学校長に研究計画をプレゼンテーションし、その評価に応じて研究資金を分配するという全国的にもユニークな取組です。今年度は8件の応募があり、チームで競いながら工夫されたプレゼンテーションが行われ、総額74万円を分配しました。分配された研究費は、実験器具などの物品費の他に旅費にも使われ、研究の深化とともに、校外への積極的な成果発表を促しました。

また、プレゼンテーションを通じて獲得する「校内科研費」は、生徒にとって研究内容を明確化するとともに、研究に対する責任を強く意識させ、計画的で意欲的な研究の実行につながりました。「やりたいことに必要な資金は自分たちで獲得する。」高校時代のこうした経験で獲得する力や態度は、近い将来、仲間と協力しながらも科学技術人材として自立し、自走するために必要な能力だと、生徒を指導しながら強く感じています。

今年度はコロナ禍で始まる未曾有の年でした。臨時休校が続き、SSH事業を含む多くの教育活動がままならない状況が続きました。

一方で、近年これほどまでに「新しい科学技術」が待望された年はありません。現在、世界中の英知が集結され、答えの見えにくい解を探し続けています。この現実が、私たち教師が課題研究を通じて身につけさせたい探究力は現代の必須能力であることを証明しているように思えます。

今年度は学校のスケジュールが大幅に変わり、課題研究も計画通りには進みませんでした。生徒によっては目標にしていた校外発表が突如中止になるなど、多くの影響を受けました。しかし、生徒たちは限られた時間の中で科学研究を継続し、仲間や指導教員と議論しながら成果を論文にまとめることができました。研究を計画し、準備し、試行しながら実施してまとめる。課題研究の過程を通じて得られた生徒の様々な学びが、論文の行間に見て取れます。

将来の科学技術人材の育成のため、忌憚のないご意見をいただけたらと存じます。

令和3年3月

SSH主任 末谷健志

自然現象とお産の関係

飯干 亜依、多久島 菜々子、藤岡 葵、溝口 七菜、山中 琴水

アブストラクト

「満月の日に出産が起こりやすい」など自然現象と出産について様々な話があるが、その真偽は定かではない。そこで本研究では、1995～2019年の総分娩数のうち、人為的な影響の少ない自然分娩と促進分娩のデータを用いて、月齢、気圧、潮汐の項目で解析を行った。自然現象と出産の関係性を示す有意な結果は得られなかったが、月齢と分娩件数に関するグラフが正弦波に近い波形を描いた。調査方法を見直すとともに、月齢と分娩件数に関しては何らかの周期性があると考えたため、今後解析を続けていきたい。

1. 研究目的

月の満ち欠け、気圧、潮汐と出産の関係を明らかにし、その理由について考察する。また、その結果を妊婦の出産に対する不安解消に生かす。

具体的には以下の仮説を立証することを目的とした。

(1) 月の満ち欠けと分娩件数について

満月、新月（大潮）の日は太陽と地球と月が一直線に並び、太陽の引力と月の引力の方向が一致して、働く引力が最も大きくなる。そのため、満月、新月の日に分娩件数が最も多くなると考えた。反対に、半月（小潮）の日は地球に対して太陽と月が直角方向にずれて双方の引力が相殺され、働く引力は最も小さくなる。そのため半月の日に分娩件数が最も少なくなると考えた。このような引力の増減に合わせて分娩件数も徐々に変化すると予測した。

また、東京大学大学院農学生命科学研究科の米澤智洋准教授らによる研究（「月の満ち欠けがウシの出産に影響を与える」2016年）より、ウシの出産率が満月期に高いことが報告されたため、同じ哺乳類であるヒトも同じように満月の日に分娩件数が最も多くなると考えた。

(2) 気圧と分娩件数について

ヒトの体は台風や嵐のような低気圧の日に副交感神経が活発に働く。副交感神経は陣痛を促進すると言われているため、低気圧の日の方が分娩件数が多くなると予想した。

(3) 潮汐と分娩件数について

母親の胎内にある羊水は、海水と含まれるミネラル成分比、塩分濃度がほぼ同一で、どちらも弱アルカリ性であり、同一の液体とみなすことができる。そのため、羊水も海水と同じように月の引力の影響を受け、満潮時刻周辺で分娩件数が多くなると考えた。

また、満潮と干潮の潮位差が最も大きい大潮の日が、影響の差も顕著であると考え、調査対象は大潮の日に限定した。

2. 研究方法

(1) みちがみ病院（山口県光市）における25年間（1995年～2019年）の総分娩のデータから自然分娩と促進分娩のデータ14,805件を抽出する。

(2) 3つの項目について解析を行う。

調査1 月齢と分娩件数

- ①月齢毎の分娩件数を割り出しグラフ化する。
- ②満月期（月齢12～18とする）と新月期（月齢0～4、26～29とする）の分娩件数を割り出し、他の月齢の分娩件数と比較する。
- ③ピアソンのカイ二乗検定の手法に基づき、結果の検定を行う。

調査2 気圧と分娩件数

- ①気象庁のホームページから山口県の1995～2019年の1日ごとの気圧のデータを入手し25年間の平均気圧を計算する。

②①で求めた平均から、その数値以上を高気圧、それ未満のものを低気圧に分類する。分娩件数のデータから、高気圧と低気圧の日で、どちらの分娩件数が多いかを調べる。

調査3 潮汐と分娩件数

- ①大潮の日における満潮時刻のデータを入手する。
- ②満潮時刻の前後3時間とそれ以外の時間の分娩件数を割り出す。
- ③それぞれの1時間あたりの分娩件数を求め、比較する。

3. 結果

調査1 月齢と分娩件数

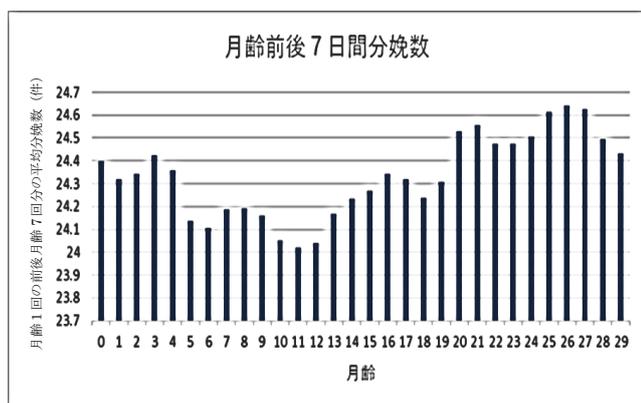


図1 月齢前後7日間分娩数

表1 1日当たりの分娩件数

満月期(月齢12~18)	20.02
新月期(月齢0~4、26~28)	20.18
新月期、満月期(月齢0~4、12~18、26~28)	20.11
その他の月齢(月齢5~11、19~25)	19.37

表2 各期間のカイ二乗値

	カイ二乗値(研究データ)	カイ二乗値(有意水準5パーセント)	カイ二乗値(有意水準1パーセント)
新月期のみ	10.9	14.1	18.5
満月期のみ	11.7	12.6	16.8
新月期・満月期	22.6	23.7	29.1

図1より、月齢に伴う分娩件数の変化が正弦波の概形が見られた。

表1は25年間分の分娩件数を、新月期満月期のときと、その他の月齢のときと比較したグラフである。月の公転周期の関係上、月齢29の値は外れ値となるため、データから除いて計算した。

表1より、新月期満月期の一日あたりの分娩件数はその他の月齢に比べ、0.74件多かった。

表2より、新月期のカイ二乗値は5パーセント、1パーセントの有意水準をどちらも満たしていない。満月期のカイ二乗値も同様にどちらの有意水準も満たさなかった。満月期新月期合計のカイ二乗値においても、どちらの有意水準も満たさなかった。

調査2 気圧と分娩件数

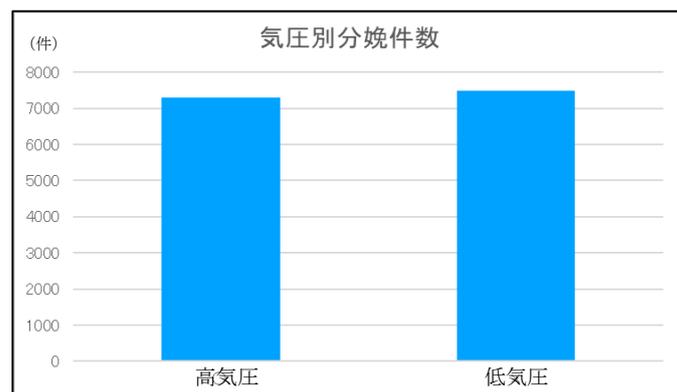


図2 気圧別分娩件数

表3 気圧別分娩件数

高気圧	7304件
低気圧	7501件

25年間の平均気圧は1013.2hPaであった。図2は高気圧と低気圧に分類して、縦軸に分娩件数を示したものである。表3より、低気圧の方が高気圧よりも件数が多くなったが、差がわずかであるので、有意であるとは言い切れなかった。

調査3 潮汐と分娩件数

表4 満潮時刻とそれ以外の時刻における分娩件数

	満潮前後3時間以内	それ以外
分娩件数	0.0596	0.0552

研究3について、表4より、満潮前後3時間以内（計12時間）とそれ以外の時間（計12時間）における分娩件数の差は僅かであったため、潮汐と分娩件数の間に有意な関係は認められなかった。

4. 考察

調査1において、新月期・満月期の分娩件数はその他の月齢のときよりも分娩件数が多くなっている。しかし新月期のカイ二乗値は有意水準を満たさなかった。また、満月期、及び新月期・満月期の合計のカイ二乗値においても有意水準を満たさなかったため「新月期に分娩件数が多い」、「満月期に分娩件数が多い」、「新月期満月期に分娩件数が多い」というすべての仮説が成立しなかった。つまり、表1に見られる差は有意でなく満月期・新月期のときに分娩件数が多いとは言えないと結論づけられた。先行研究「月の満ち欠けがウシの出産に影響を与える

（東京大学大学院農学生命科学研究科）」よりウシは満月期・新月期のときに出産件数が増えることが明らかになっている。しかし、同じ哺乳類であるヒトでは観測されないのは、自然現象の影響を社会的ストレスが見えにくくしたためと考える。本研究で、満月期・新月期に分娩件数が多いとは言えないことが分かったが、図1より月齢に伴う分娩件数の変化が正弦波を描いていることから、月齢と分娩数には何らかの関係があると考えられる。

調査2において、有意な結果が得られなかったのは、一日の平均気圧を用い、時間毎の気圧の変動を考慮していないためだと考える。一日の時間毎の気圧の変動と分娩時間とを照らし合わせて比較することでより有意な差が見られると考えた。

調査3について、本研究では、破水時刻を入手することが困難であったため、分娩時刻を用いたが、

陣痛開始から分娩開始に至るまでには母体の娩出力や体内環境、胎児の大きさ等が関係しており、特に娩出力の強弱は分娩時刻に大きく影響している。また、医療従事者による人的なサポートも分娩時間に影響を与える場合がある。よって、分娩時刻は人的要因による影響が大きいと、起潮力の影響を反映しにくかったと考える。

したがって、分娩件数に影響が出にくかったと考える。

5. 結論

調査1 月齢と分娩件数

分娩件数と月齢の傾向について、満月期・新月期に多いと仮説では予想した。しかし、ヒトの個体差や生育環境の差により、分娩件数と月齢の有意な関係はこの研究では認められなかった。本研究では自然現象とお産の関係を明らかにするための要素として月齢と気圧を用いたが、月齢前後7日間分娩件数についてのグラフが正弦波に近い波形を示していることから、何らかの周期性があると考えられる。今後の展望として、その可能性について今後検討していきたい。

調査2 気圧と分娩件数

気圧と分娩件数の傾向について、台風や嵐のときにも私たちの体は副交感神経に支配されるため、低気圧の日に出産が多くなったのではないかと仮説では予想した。しかし気圧と分娩件数の有意な関係は見られなかった。今後の展望として、本研究では、毎時間の平均気圧を対象にして研究を行うことでより正確な結果を得たい。

調査3 潮汐と分娩件数

潮汐と分娩件数の傾向について、羊水が地球表面にある海水の潮汐と同様に周期的な引力の影響を受けると本研究では予想していた。しかし、潮汐と分娩件数の有意な関係は見られなかった。要因として、本研究では破水時刻ではなく人為的な影響が大きい分娩時刻を用いたためだと考える。

6. 謝辞

この研究を進めていくにあたり、25年間分の出産件数についてのデータを提供して下さった、みちがみ病院の皆様へ感謝の意を表します。また爲久先生は、データの分析に行き詰まったときに適切な助言をくださったり、熱心なご指導を下さったりと、大変お世話になりました。ありがとうございました。

7. 参考文献

「月の満ち欠けがウシの出産に影響を与える」

(東京大学大学院) 2016年

「自然現象が分娩開始に及ぼす影響」 菊池美帆

原 三津夫 河内和直 藤田ゆかり

渡邊之夫著 (新潟県立看護大学) 2012年

「月の魔力」 著 A. L リーバー, 東京書籍, 2010年

気象庁ホームページ

<https://www.data.jma.go.jp/.gmd/kaiyou/db/tide/suisan/suisan.php?stn=QA>

落下する物体における落下速度の減衰について

井上裕貴、福田陽大、松本響輝、笹井楓菜、大川菜羽

アブストラクト

高高度からの落下が想定されたパラシュートに対し、建築物など低高度からの安全な降下が可能な皮膜の形を考察した。落下までの時間が長い安定性に欠ける円形のパラシュートをもとに、各性能を高められる形状に近づけた。最終的に、傘を半球に近づけた形状で特に性能を高めることができると分かった。頂点の数によりどのように性能が変わるか等、更なる改善の手段を考えていきたい。

1. 研究目的

現在、高所から降下する手段としてパラシュートなどが存在する。パラシュートは、使用に多くの準備が必要であり、簡単に使えるものではない。しかし、もし簡素なものであれば、火災などの災害時、建物の高層から避難するために良い手段であると考えた。しかし、現存するものでは、大きすぎることや完全に安全な着地ができないことなどの問題点により、そのような場面で使用することは困難である。そこで、小型で安全に着地できるパラシュートの形状について調べる。

2. 研究方法

小型の模型を製作し、落下時の終端速度と落下の様子、落下地点のずれを計測し、それをもとに空気抵抗値を求める。

(1) 実験内容

- ① 皮膜の形が正三角形、正方形、円形のパラシュートの滞空時間と安定性を調べる。
- ② 円形のパラシュートを安定させる方法を調べる。(変える条件：紐の数を4本から8本にする、円周を糸で補強する、重りを増やす)
- ③ 皮膜の形を展開が速い紙風船をモデルにした半球型、頂点が8つの傘型に変更し滞空時間、安定性および皮膜の展開時間を調べ、空気抵抗を求める。

傘型



半球型



(2) 準備物

- ポリエチレンビニール袋
- 洗濯ばさみ
- タコ糸
- 安全ピン
- 五円玉
- ストップウォッチ

(3) 実験方法

- ① PE袋を下記の面積に従って切り、皮膜を作る
- ② 正三角形と正方形には各頂点に、円形には円周を等分する位置に、タコ糸を貼り付ける
- ③ タコ糸をまとめて安全ピンに括る
- ④ 安全ピンの先に五円玉を取り付ける
- ⑤ 高さ3mからパラシュートを落下させる
- ⑥ 落下時間を3回計測し、様子を観察する
(実験3ではメジャーに50cm間隔にテープをつけ、カメラを使って落下時の様子を撮影する。動画をコマ送りにし、展開時間と終端速度を5回計測する)

⑦ パラシュートを落下させた位置の真下の地点から実際の落下地点までの距離を測る

面積	100 cm ²	400 cm ²	900 cm ²
糸の長さ	20	23	26
糸の本数	4	4	4

(正三角形のとき、糸の本数は3本で実験をした。また、実験3では、タコ糸が集まる安全ピン近くに、円形に切ったポリ袋にタコ糸を等間隔に貼り付け糸が絡まらないようにした。)

3. 結果

(1) 実験 1

- ・正三角形と正方形のパラシュートは落下地点からのずれが小さく比較的安定して落下した
- ・正三角形と正方形を比べると、正方形の方が着地までの時間は長かった
- ・円形のパラシュートの降下速度は遅かったが落下地点が大きく変動し、不安定であった

表 1 正三角形の皮膜の滞空時間と安定性

面積(m ²)	100	400	900
1回目	0.98	1.58	1.71
2回目	0.91	1.76	1.92
3回目	0.96	1.46	1.8
平均	0.95	1.6	1.81
様子	安定	安定	安定

表 2 正方形の皮膜の滞空時間と安定性

面積(m ²)	100	400	900
1回目	1.08	1.65	2.49
2回目	0.89	1.75	2.51
3回目	0.85	1.66	2.37
平均	0.94	1.69	2.46
様子	移動距離やや大	安定	安定

表 3 円形の皮膜の滞空時間と安定性

面積(m ²)	100	400	900
1回目	0.85	1.66	2.92
2回目	0.91	1.36	2.56
3回目	0.95	1.87	2.23
平均	0.9	1.63	2.57
様子	不安定	不安定	移動距離大

(2) 実験 2

- ・円形の皮膜において、実験1から変更したどの条件においても、安定性について、変化や規則性は見られなかった
- ・円周を糸で補強したときとタコ糸の本数を4本から8本にしたときは、測定値の誤差範囲が大きくなった

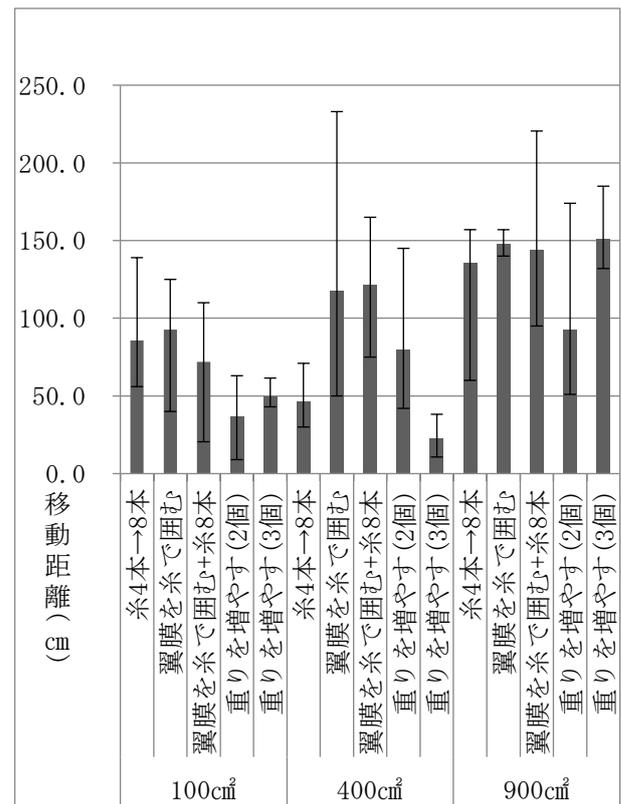


図 1 各条件における円形の皮膜の安定性

(3) 実験3

- ・半球型、傘型のどちらにおいても実験1や2のパラシュートより落下地点のずれが小さく安定した
- ・展開時間において半球型、傘型のどちらも実験1や2よりも速くなった
- ・滞空時間は実験1の円形900cm²と比べると半球型はわずかに短くなり、傘型はわずかに長くなった

表4 半球型のパラシュートの各測定値

	滞空時間	終端速度	ブレ	展開時間
1回目	2.64	1.16	0.84	0.33
2回目	2.15	1.44	1.19	0.32
3回目	2.35	0.90	1.22	0.30
4回目	2.52	1.17	1.49	0.34
5回目	2.03	1.35	1.50	0.25
Ave	2.34	1.20	1.25	0.31

表5 傘型のパラシュートの各測定値

	滞空時間	終端速度	ブレ	展開時間
1回目	2.78	1.14	1.59	0.35
2回目	2.82	1.12	0.49	0.31
3回目	2.86	1.06	1.10	0.35
4回目	2.56	1.10	1.10	0.35
5回目	2.38	1.15	0.21	0.33
Ave	2.68	1.11	0.90	0.34

(半球型と傘型の終端速度、落下地点のずれ、展開時間についての比較)

- ・終端速度については、傘型よりも半球型のほうが遅かった
- ・落下地点のずれについては、半球型よりも傘型の方が小さく、安定していた
- ・展開時間については、傘型よりも半球型のほうがわずかに速かった

4. 考察

(1) 実験1

正三角形や正方形が比較的安定して落下した理由として、落下時に重りによって皮膜の頂点が中心に集まり、全体的にバランスが取れたためだと考えられる。しかし、円形には頂点がないために皮膜が一点に集まらないこと、また、皮膜が引く張られることで、不規則なたるみ生まれ、バランスを上手く保つことができなかつたと考えられる。滞空時間が円形の方が長かつた理由はこのことと関係していると思われる。円形は皮膜が中心に集まりにくいために面積の収縮が減り、より大きな空気抵抗を受けられたが、正三角形、正方形は、頂点が中心に集まつたために皮膜の面積が小さくなり、受けられる空気抵抗が小さかつた。よつて、滞空時間も短かつたと考えられる。正方形と正三角形の滞空時間を比較すると、正方形の方が長いことから、頂点の数が多い方がより空気抵抗を受けられると考えられる。この理由としては、頂点の数が多い方が重りによって皮膜が中心に集まつたときの面積の収縮が減少するからであると考えた。

(2) 実験2

糸の本数を4本から8本に変えて行つたのは、糸の本数が増えることで4本の時よりも均等に皮膜に力加わり、皮膜が中心に集まりやすくなり、安定すると思つたからである。しかし、安定性の向上は見られなかつた。この原因として、重り近くの紐が4本の時よりも密集し、絡まりやすかつたことが挙げられる。これによつて、完全に展開するまでに時間がかかることや皮膜が展開しきれないこと、また、重りが中心に位置しなくなるなどの問題が起つた。これにより、安定性を得ることができなかつたと思つた。また、測定値の誤差範囲が大きくなつたのは、落下させるたびごとに糸の絡まり度合が異なり、展開時間や重りの位置に大きな違いが生まれつたからだと考えた。

円周上を紐で囲み補強したのは、実験1におい

て発生した、下から受ける空気によって皮膜が不規則に歪んでしまうという問題を克服するためである。しかし明確に安定したという結果は得られなかった。この原因として、紐をビニール袋に張り付け補強させたときに部分によって重さの偏りが生まれてしまい、バランスを保つことができなかったことが考えられる。またこのことが、測定値の誤差範囲が大きくなったことにつながっていると考えた。

重りの数を増やしたのは、実験1において五円玉一枚で実験を行ったところ、左右に揺れながら落下する様子が見られたため、重りの枚数を増やすことにより下向きに働く力が大きくなり安定するのではないかと、思ったからだ。重りの枚数を変えたのは、最適な五円玉の枚数を調べるためである。五円玉が2, 3枚の時、この重さに対して円形の皮膜900 cm²が受けられる空気抵抗が小さいために滞空時間が短すぎた。したがって、五円玉一枚が最適であると判断した。

実験2から、実験1での反省点を反映して新しく作った円形の皮膜でも安定しなかったことから、パラシュートの皮膜には平面図形よりも形が崩れにくい立体図形の方が適すと考えた。

(3) 実験3

半球型も傘型も実験2より安定して落下したことから、平面図形よりも形が変形しにくい立体図形の方が皮膜に適していると判断できる。

また、傘型の方が落下地点のずれの誤差範囲が小さく、安定して落下した理由として、傘型は実験1の正三角形や正方形のように作用点が比較的中心に集まったために、バランスがうまく保たれたこと、また、頂点の数が多くて空気抵抗をより多く受けられたからだと考えられる。しかし、半球型はサインカーブを貼り合わせて作ったために接着部分が皮膜の重さに偏りを与えてしまい、その結果、半球型は傘型よりも不安定になってしまったと考えられる。半球型は比較的展開が速い紙風船をモデルに作ったことやサインカーブの図形を貼り合わせて作っ

たために形が崩れにくくなり、展開時間は傘型よりも早くなった。それぞれの空気抵抗を求めるために、空気抵抗係数を0.06990、重力加速度を9.806 m/s²として計算すると半球型は0.09078N、傘型は0.07789Nとなった。これらをもとに表面積を1000倍の90 m²、重りの質量を50, 60, 70kgにしたときの終端速度について求めると、50kgのときに2.64 m/s、60kgのときに2.89 m/s、70kgのときに3.13 m/sとなった。このことから、現存するパラシュートよりも小型で、かつ人間が安全に着地できる速度とされている6.00 m/sを下回ることが分かった。

5. 結論

最終的な結果より半球に近い傘型であれば非常に良い結果が得られると思われるが、今後実際に製作し、検証する必要がある。また、実寸換算した場合、地上10mからの落下でも、終端速度が安全に着地できる数値となることが分かった。今後の課題として、上記の検証に加え、傘型の突出部の数の変化による性能の変化を調べ、最良の形状を追究していきたい。

6. 謝辞

本研究において河村先生には、研究方法の指導やアドバイスなど様々な面で多大なるご協力を頂きました。本当にありがとうございました。

7. 参考文献

- ・円柱その他の抗力抵抗係数
http://skomo.o.007.jp/f28/hp28_63.html
- ・抗力-Wikipedia
<https://ja.wikipedia.org/wiki/抗力>

AI で心霊写真を科学する

森田歩暉 山本大雅 石井俊 金井蒼一郎 吉崎陽生

アブストラクト

シミュラクラ現象とはコンセントや窓枠などの無機物が顔に見えるという現象である。我々はこのような現象と1年生の時に学んだAI技術を用いて、心霊現象を客観的かつ科学的に証明したいとこの研究を始めた。そのためにまず、日常において人の顔に見える画像を多数集め、人の顔に見えるものを判別するAIを作成し、次に通常の光景（班員の部屋）と、心霊スポットと呼ばれている場所（墓地）での人の顔に見える数（以下、顔の検出数）を比較し、心霊現象は人間の目の錯覚であるシミュラクラ現象で説明がされるのではないかと結論づいた。

1. 研究目的

一年生の頃、情報の時間で勉強したAI（特にDeepLearningと画像認識）についての知識と、点が逆三角形上に並ぶと人の顔に見えるというシミュラ現象から着想を得て、顔に見える場所を特定するAIを作成し、私たちの生活空間には顔に見える場所が多く存在することを示すことで、心霊現象と呼ばれるものが特別なものではなく身の回りにあふれるシミュラクラ現象の一つであるということを客観的且つ科学的に証明したいと思い、研究を始めた。

2. 仮説

人の顔が見える心霊現象（シミュラクラ現象）はどこにでも起こり得る現象だと考え、シミュラクラ現象はどのような場所でもおよそ同じように観測されると考えた。よって、日常的な場所（班員の部屋、校内）と心霊スポットと挙げられるような場所（墓や橋）では、どちらでも均等な数だけ顔があると認識されるのではないかと考えた。

3. 方法

研究Ⅰ「人の顔に見えるものを判別するAIの作成」

Virtualbox、Anaconda3、ubuntu、VoTTを使用

(1) 人の顔に見えるといわれる写真をインターネットから集めると共に、デジカメで身の回りで

それらしきものを撮影する。

(2) VoTTを用いて画像にタグを付け、機械学習のための訓練データとする。

(3) DeepLearningを用いて、機械学習を行い、人の顔に見える所を検出する学習モデルを作成する。

研究Ⅱ「シミュラクラ現象の検出数の測定」

(1) 班員4名の自室、校内の図書室、職員室、教室、男子トイレ、昇降口、本館玄関、保健室、及び墓地の動画を動画の長さ、撮る高さと同じにして撮影する。

(2) 研究Ⅰで作成した学習モデルを利用して、顔の検出数を比較する。動画全体を通しての顔の検出数を比較することを3回ずつ行う。

研究Ⅲ「墓地で顔の検出数が増えた要因の特定」

研究Ⅱによって、墓地においてシミュラクラ現象が突出して多いという結果を得た。この要因として以下のことが考えられる。

①シミュラクラ現象は物が多くあるところで起こりやすいためAIが沢山反応した。

②ほかの場所に比べて暗く、陰影にAIが反応したのではないかと考えた。

したがってシミュラクラ現象と明暗、空間の乱雑さに焦点を当てて次の実験を行う。

- (1) 班員五名の部屋で整理整頓した状態での判定数と乱雑に散らかした場所での判定数を比較する。
- (2) 部屋が明るい状態・暗い状態それぞれを上の実験と同様に比較する。両条件ともカーテンを閉めた状態で昼間に撮影し、明るい状態は電気をつけたまま、暗い状態は電気を消して撮影する。

4. 結果

研究 I 「人の顔に見えるものを判別する AI の作成」の結果

- ・画像の総数は 320 枚で訓練データは以下の通りになった。(図 1)
- ・人の顔と見えるような所を検出することが出来る学習モデルを作成することが出来た。(図 2)



図 1 訓練データとした写真の一部

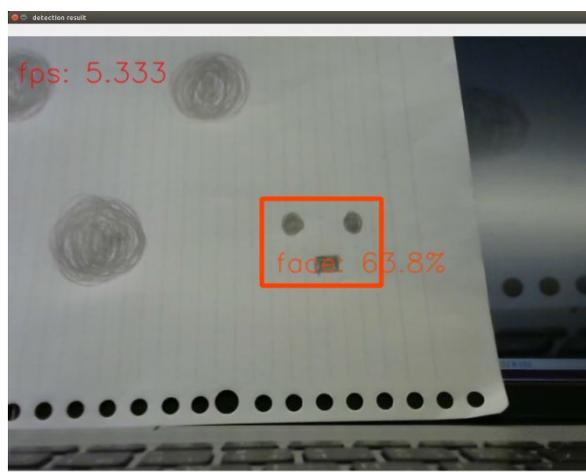


図 2 顔に見える所を検出する AI の様子

AI が顔と判断している場所が四角で囲まれている。

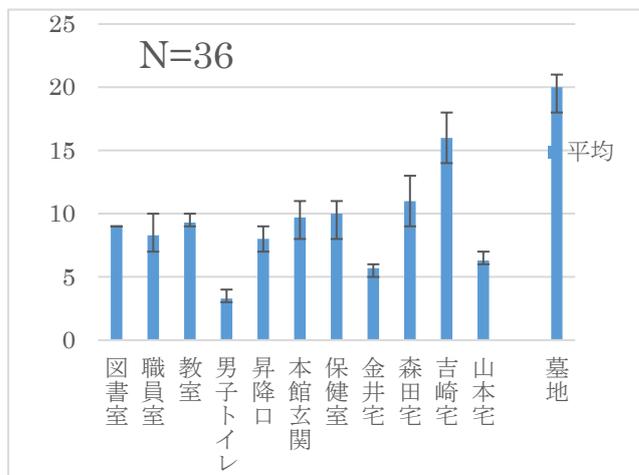
研究 II 「シミュラクラ現象の検出数の測定」の結果

- (1) 図 3 のような状態で動画を撮影した。



図 3 動画撮影の様子

- (2) 各場所におけるシミュラクラ現象の検出数はグラフ 1 の通りになった。



グラフ 1



図 4 墓地



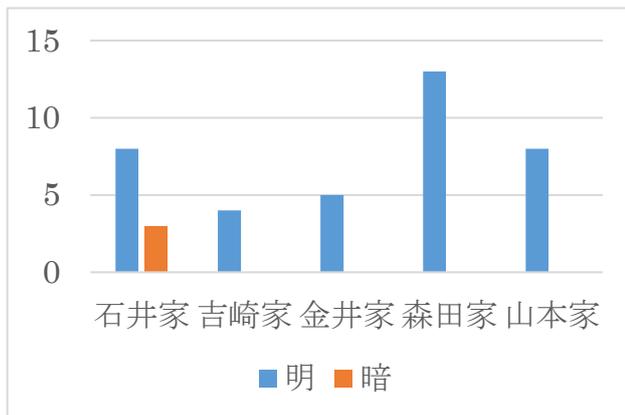
図5 金井家 参考画像



図6 吉崎家 参考画像

研究Ⅲ「墓地で顔の検出数が増えた要因の特定」の結果

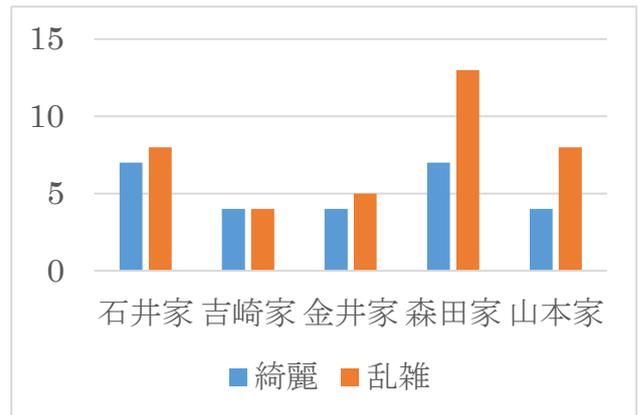
(1) 明るさと顔の検出数



グラフ2

(多くの場所で暗い場合の検出数はゼロ)

(2) 空間の乱雑さと顔の検出数



グラフ3



図7 班員の部屋での撮影風景

5. 考察

研究Ⅱの結果であるグラフ1から分かるとおり、身の回りの様々な空間で顔に見える場所、つまりシミュクラ現象が観察された。しかし、検出数に場所毎のばらつきがあるとともに、突出して墓地では顔の検出数が多かった。一方、教室やトイレなどの顔の検出数は少ない傾向にあった。

この理由として、図4、5、6、7から分かるように、物が多くある場所で検出数が多くなる傾向が予想された。また、室内と屋外の明るさの違いが影響しているのではないかと想像された。

そこで実施したのが研究Ⅲである。グラフ3から分かるとおり、整頓した空間と比較して部屋が乱雑な状態である方が顔の検出数が多かった。その理由として、部屋が乱雑な状態の方が物の陰影が多く、

AIが顔だと判断する確率が高くなっているのではないかと考えられる。

一方、部屋が暗い状態では、顔の検出がほぼなかった。その原因として、今回用いた暗い状態の動画がAIで判定するには暗すぎて物体を見分けられなかったと考えられる。これについては、もっと薄暗い状態で試すことで、違った結果になる可能性がある。

6. 結論

研究Ⅰ～Ⅲによって、シミュクラ現象が、身の回りにあふれていることを自作したAIの判定によって確かめることができた。

また、AI判定という状況下においては、シミュクラ現象は、乱雑な環境ほど多く見られる傾向にあることが分かった。

さらに、墓地は墓石などのオブジェクトが多く、乱雑さが身の周りの環境と比べて高いといえと考えられるため、シミュクラ現象が多く検出されたと予想される。

一方、明暗とシミュクラ現象の検出頻度との相関は、今回の実験でははっきりとした結果は得られなかったため、今後の課題となった。

今後の展望としては、研究ⅠにおけるAIの精度向上が挙げられる。今回、AIの訓練データとして使用した画像は320枚と機械学習の量としては少ない。制作したAIは、シミュクラ現象に見られるであろう身の回りの物体に対して概ねきちんと判定できていたため、今回の研究に使用した。しかし、一般的に訓練データの量はAIの判定精度に大きく影響する。今後、訓練データを増やし、より精度の高いAIに改良する必要があると考える。また、そのAIを活用することにより、今回の結果もより違ったものになる可能性もある。

さらに、研究Ⅲにおいては、乱雑さ・明暗の指標がなく、実験者の主観で条件を設定した。客観性を担保するために、今後はきちんとした指標を用意して比較したい。

7. 参考文献

「高校数学で学ぶディープラーニングの仕組み」
涌井貞美

緑茶の発酵と殺菌の関係性

弘中 晋、本田 悠、牧 汰樹、満岡 輝

アブストラクト

緑茶の発酵度合いによって、化学的性質がどのように変化するのかということに興味を持ち、発酵度合いと抗菌作用の関係について研究した。寒天培地で、発酵度合いの違うお茶を入れた時のそれぞれの培地における菌の広がり方を観察し、その結果から緑茶の発酵度合いが小さいほど抗菌作用が大きいことが分かった。

1. 研究目的

食品に関して調べていた際に、緑茶に殺菌作用があることを見つけた。また、緑茶を発酵することによって、烏龍茶や紅茶など様々な種類に変化することも分かった。先行研究では、お茶の発酵と成分の変化について研究していた。私たちは最近話題になっているお茶の抗菌性に着目して研究を行い、発酵が進んだお茶の方が、抗菌作用が小さいという仮説を立てた。

2. 研究方法

予備実験

予備実験として、緑茶が抗菌作用を有しているかを確認する実験を行った。方法は本実験と同様である。

本実験

使用器具など

- ・緑茶
- ・紅茶
- ・烏龍茶
- ・ヨーグルト
- ・寒天粉末
- ・コンソメ（菌の繁殖を促す）
- ・ペトリ皿
- ・ビーカー
- ・ガラス棒
- ・インキュベータ
- ・こまごめピペット

実験手順

- ① 寒天培地を4つ作る（この時コンソメを加えた）
- ② それぞれの培地に菌を加える（今回はヨーグルトを用いた）

- ③ 緑茶、烏龍茶、紅茶を加えたものとお茶を加えていない培地をそれぞれ作る
- ④ インキュベータ(温度を30℃に保つ)内で培養させ、経過を観察する



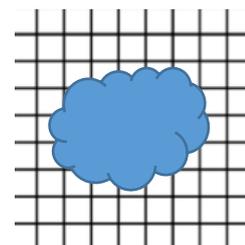
インキュベータ

3. 結果

培地を観察して4つの培地について以下のような結果を得た。

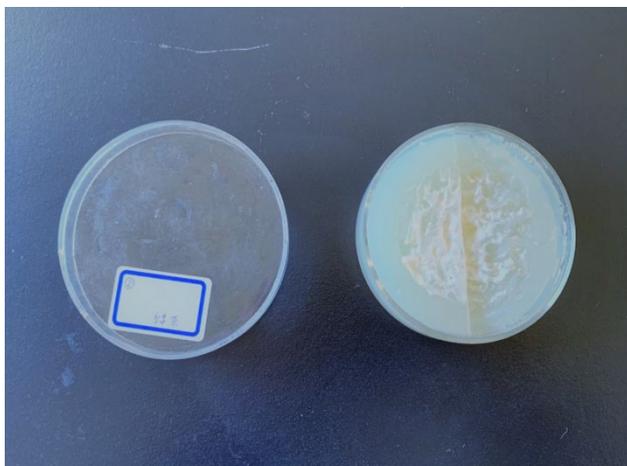
なお、各培地での菌の広がりを比較するために、緑茶での菌の広がりを1として、他の培地での広がりを相対的に数値で表した。面積の相対値は培地を正方形のエリアに分けて概算した。

例) 右図の面積は
 $14 + (1/2) \times 16$
より 22

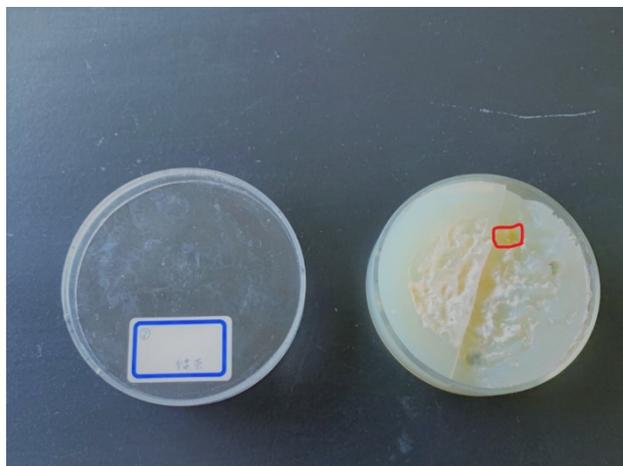


①緑茶のみを入れた培地

○【実験前の写真】



●【一週間後の写真】



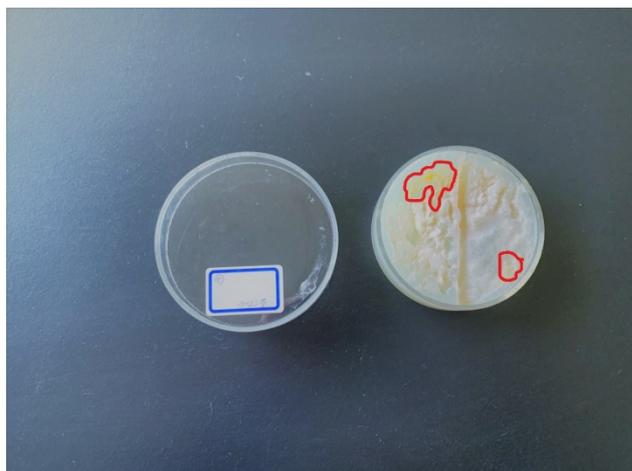
菌の広がり： 1

②烏龍茶のみを入れた培地

○【実験前の写真】



●【一週間後の写真】

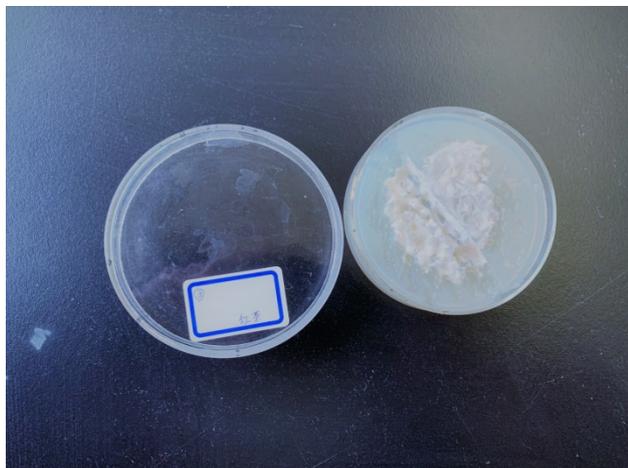


緑茶のみを入れた培地より菌が多く繁殖していた。

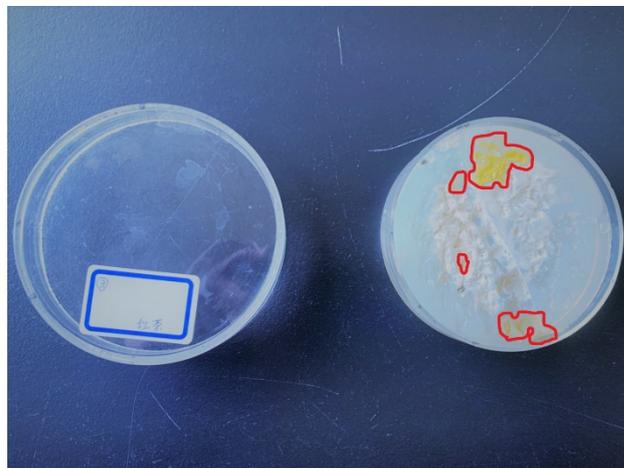
菌の広がり： 1.8

③紅茶のみをいれた培地

○【実験前の写真】



●【一週間後の写真】



緑茶のみ、あるいは烏龍茶のみを入れた培地より菌が多く繁殖していた。

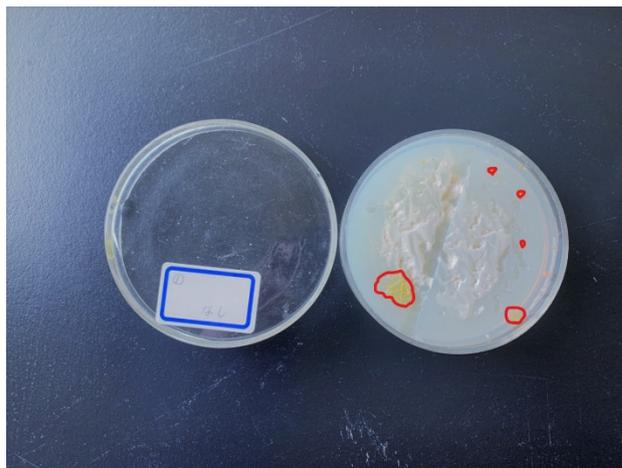
菌の広がり： 3.2

④何も入れなかった培地

○【実験前の写真】



●【一週間後の写真】



緑茶のみ、あるいは烏龍茶のみを入れた培地より多くの菌の繁殖が見られたが、紅茶よりは少なかった。

菌の広がり： 3.0

観察された菌を枠で囲んでいる

4. 考察

お茶の発酵度合いは紅茶、烏龍茶、緑茶の順に高い。この事実と、発酵度合いが高いお茶を入れた培地の方が菌の広がりが見られることから、お茶の発酵度合いが小さいほど抗菌作用が大きいといえる。

なお、紅茶ができる際の発酵において、抗菌作用を持つテアフラビンが発生することが先行研究で分かっている。しかし、今回の実験では紅茶がテアフラビンを含んでいるにも関わらず、紅茶の抗菌作用は緑茶のものより弱かったため、この原因について検証を行っていきたいと思う。

5. 結論

今回は、緑茶・烏龍茶・紅茶といった「緑茶の発酵と抗菌作用の関係性」に着目して、お茶が菌に及ぼす影響について調べたところ、お茶の発酵度合いが小さい程、抗菌作用が大きいと分かった。一方で、お茶の中には微生物を用いて発酵させるお茶である黒茶というものもあるので、機会があれば発酵に使う細菌類によって抗菌効果に違いがでるのかということ調べたい。

6. 参考文献

- 「菌が作るお茶の科学」 折居千賀
- 「茶葉の成分は製造工程によって変化するのか」
富山高等学校
- 「寒天培地で微生物を育てよう」
リセマム

バイオ燃料電池の実用化

八木俊輔、田頭通成、村塚怜、藤田陽太郎、中吉陸斗

アブストラクト

バイオ燃料電池とは有機物を微生物に分解させることで発電する電池である。安全面、環境面から見て従来の電池より秀でているが、出力量がかなり小さく実用化できないことが問題となっている。本研究ではバイオ燃料電池を実用化するために、この電池の条件を変えることで高い出力量が得られる方法を模索した。またそれを用いて身近にあり、この電池に適しているラムネから発電できるかどうかを確かめた。その結果、初期の出力値の約 500 倍にまで出力量を高め、またラムネを用いて初期の約 900 倍の出力量を得た。これからの展望として実験器具等を用いずに身近にある道具を使った発電と、バイオ燃料電池の発電中に出力量が落ちてしまう原因の特定が挙げられる。

1. 研究目的

バイオ燃料電池を実用化するために以下の3つの目的で研究を行った。

- [1] 出力量が大きくなる方法を求める。ただし、「出力量」をこの研究では発電した際に測定した電圧 (mV) と電流 (mA) の積と定義する。
- [2] 出力量の時間変化を調べた。
- [3] ラムネを用いて発電をする方法を求めた。

- ・ 300mL ビーカー
- ・ セロハンチューブ
- ・ 炭素電極 (2 本)
- ・ ホットスターラー



図 1. ポテンシオスタット

2. 研究方法

研究 I 「出力量を大きくする実験」

まず出力量が大きくなる発電方法を求めるために以下の実験 1 を行った。パン酵母とグルコースを用いてバイオ燃料電池を作成し、メナジオン (電解質) 量と装置内温度の条件を変えた時の出力量変化を調べた。

(1) 実験道具および装置 1

① 実験道具

実験 1 に以下の実験道具を用いた。

- ・ 0.10mol/L グルコース溶液 (50mL)
- ・ 0.50mol/L ヘキサシアニド鉄(III)酸カリウム水溶液 (150ml)
- ・ パン酵母 (2.0g)
- ・ メナジオン
- ・ ポテンシオスタット

(電流を一定にして電圧を測定する装置)

② 実験装置

図 2 のように装置を作製した。

0.10mol/L グルコース水溶液 50mL、メナジオンを混合したものを A 液とし、0.50mol/L ヘキサシアニド鉄(III)酸カリウム 200mL を B 液とした。A 液はセロハンチューブに、B 液は 300mL ビーカーに入れ、セロハンチューブは糸で片方を縛り、縛った方をビーカーに入れた。A 液、B 液に炭素電極を入れ、炭素電極をポテンシオスタット (電流を一定 (今回は 1 mA) にして電圧を計測できる装置) に接続した。

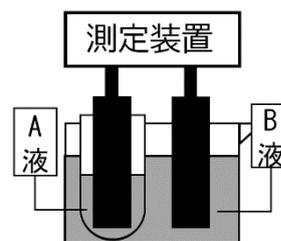


図 2. 実験装置

(2) 実験方法 1

- ①先の装置を準備し、図 1 の各槽に A 液と B 液を入れた。
- ②A 液にパン酵母を入れ、その時を開始時間とした。
- ③実験開始から 15 分間の電圧の値のうち、最大値を記録した。

(3) 実験条件 1

実験は 8 回行った。以下がそれらの条件である。

実験名	メナジオン量 (g)	反応系温度 (°C)
実験 1-1	0.010	20
実験 1-2	0.010	40
実験 1-3	0.050	20
実験 1-4	0.050	40
実験 1-5	0.10	20
実験 1-6	0.10	40
実験 1-7	0.20	20
実験 1-8	0.20	40

研究 II 「出力量の時間変化を調べる実験」

電池の実用化において、出力量の最大値が大きいだけで、出力量が途中で落ちてしまうことが問題であるため、発電中に出力量が落ちる原因を調べるために以下の実験 2 を行った。

(1) 実験道具および装置

実験 1 と同じ。

(2) 実験方法 2

- ①実験 1 と同じ。
- ②実験 1 と同じ。
- ③実験開始から 1 分ごとに電圧を記録し、実験開始から 30 分経った時点で記録を終了した。これを 4 回行い、4 回それぞれの値の中央値をとって評価した。

研究 III 「ラムネを用いた実験」

ラムネを用いた発電方法を求めるために実験 3 を行った。ラムネを使用したのは身の回りにあり、固体であるため扱いやすく、グルコースと同様にパン酵母によって分解されやすいという条件を満たしたためである。先の実験のグルコースをラムネに変えて実験を行った。

(1) 実験道具および装置

①実験道具 3

実験方法②におけるグルコースをラムネに変更した。またラムネに含まれるグルコース量から先の実験と同物質量のグルコースを含むラムネ (1.0g) を用いた。

②実験装置 3

実験 1 と同じ。

(2) 実験方法 3

①実験 1 と同じ

②A 液にラムネを入れ、その時を開始時間とした。その際ラムネを完全に溶かしたもの、半量溶かしたもの、固体のままのもの、の 3 つで場合分けを行った。

③実験を開始してから 5 分ごとに電圧を記録し、実験開始 30 分で実験を終了した。

(3) 実験条件 2

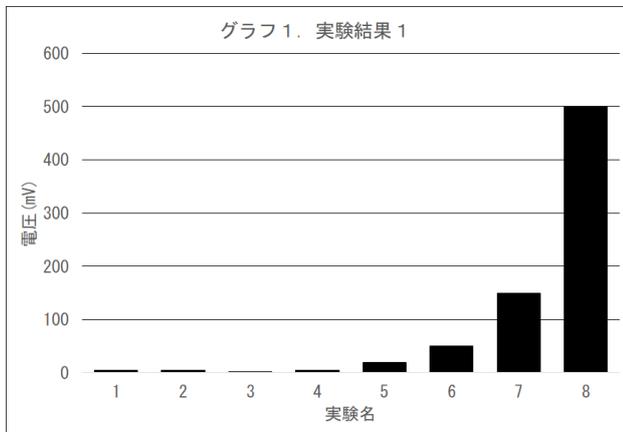
実験 3 は 3 つに場合を分けて行った。

実験名	ラムネの状態
実験 3-①	完全に溶かす
実験 3-②	半分溶かし、 半分は固体のまま
実験 3-③	すべて固体のまま

3. 実験結果

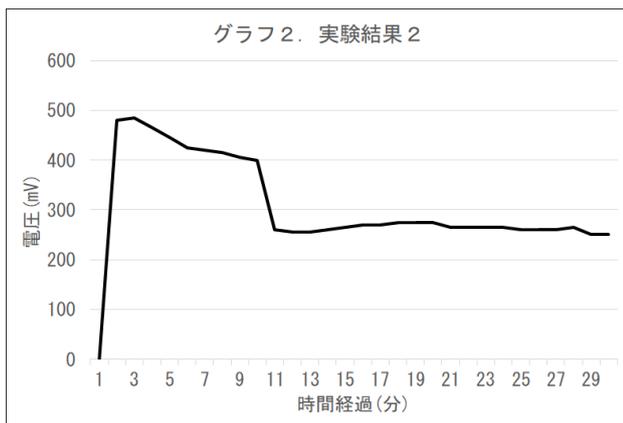
研究Ⅰ「出力量を大きくする実験」

実験 1 の結果をグラフ 1 に示す。



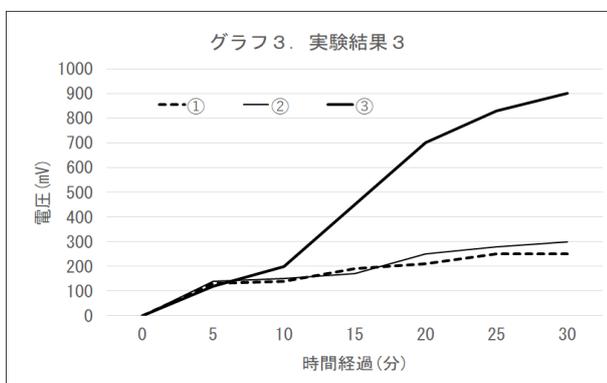
研究Ⅱ「出力量の時間変化を調べる実験」

実験 2 の結果をグラフ 2 に示す。



研究Ⅲ「ラムネを用いた実験」

実験 3 の結果をグラフ 3 に示す。



4. 考察

研究Ⅰ「出力量を大きくする実験」

メナジオンの量を増やしたことによる出力量の増加の理由として、電解質であるメナジオンにより、この電池内に電子がより流れやすくなったからであると考えた。また、温度を変化させたことによる出力量の増加の理由として、パン酵母が活発に活動できる温度に近づけることによって、パン酵母がグルコースをより多く分解したためであると考えた。

研究Ⅱ「出力量の時間変化を調べる実験」

実験開始から 10 分経過後に出力量の急激な低下がみられた。私たちはこの原因を二つ推察した。一つ目はグルコースの分解時に発生した二酸化炭素が電極につくことで微生物が分解しにくくなる、また電流が流れにくくなることである。つまり分極したということである。二つ目は反応物が反応するにつれて減少することに起因した、と考えた。この実験からバイオ燃料電池は発電し始めた段階では出力量が高い値を示すが、時間が経つにつれ下がってしまうことが分かった。

研究Ⅲ「ラムネを用いた実験」

以上よりラムネでの発電ができることが分かった。また電圧の変化の仕方は①②③で差はあまりなく、かつ電圧は③が最も大きかったことから、ラムネは溶かさずに固体のままを用いた方が出力量は大きくなる、とわかった。これは溶かした場合、一様にラムネが溶液に存在するのに対し、固体のままの場合は局所的にかなり濃度の高いラムネ溶液ができ、ここでの反応が効率よく起きることによって以上の結果になった、と推測した。

ところでグルコースを用いた場合では出力量の最大値に達するまでにかかる時間が短く、ラムネでは長かった。しかし、グルコースとラムネの出力量の最大値を比較すると、ラムネの方が大きい。これらの事実から、パン酵母が両者を同様に分解するとき、グルコースは分解するのに時間はかからないが、それにより得られる電力は小さい、と考察した。現段階ではこの原因まで考察することはできなかった。

5. 結論

実験より、メナジオン量と装置内温度を変えることで出力量をより大きくする方法を求めることができた。グルコースを用いた場合は1 mA 下で500mV の出力量を得ることができた。しかし、電圧が発電中に落ちてしまうことも分かった。この原因を二酸化炭素の発生と分極と私たちは考えた。また研究3よりラムネを用いた場合は900mV の出力量が得られた。

次に、実験によりラムネを用いた発電の方法を求めることができた。またラムネを用いる際、電解液に溶かして発電するのではなく、固体のまま用いた方が大きな出力量が得られると分かった。さらにこの研究によってグルコースとラムネのパン酵母による分解結果の違いについても考察することが出来た。

最後に、今回の研究では発電中に出力量が落ちること、グルコースとラムネの分解結果の違いについて推察をしたが、このことを実験ないし、理論的な裏付けをすることが今後の課題である。また今回は実験器具を用いた。しかし実用化、特に災害時に活用するうえでは分解する試料と同様に、身近なもので電池の作成をすることが望ましいため、この点の改良も今後の課題である。

6. 謝辞

本研究をするにあたり、助言、協力して下さった東ソー株式会社の皆様など、研究にかかわって下さったすべての方々にこの場を借りて厚くお礼申し上げます。

7. 参考文献

- https://www.jstage.jst.go.jp/article/kakyoshi/66/6/66_290/_pdf (神奈川県立弥栄高等学校サイエンス部 パン酵母を用いたバイオ燃料電池の製作)
- <seisan.server-shared.com/654/654-81.pdf> (東雅之 微生物を触媒にしたバイオ燃料電池)

バナナを甘くする方法

蔭谷夕子、西山奈那、堀田咲恵、永岡千佳

アブストラクト

糖度計で測定する糖は本来の糖量とは違うことを知り、実験によって本来の糖量を求めたいと思った。バナナの部位や調理法によって糖量が変わるのかということを探し、科学的にバナナを一番甘く食べられる方法を決定しようとした。常温状態で同一個体を三等分して計量した場合、根本の部分で糖量が最も多かった。同一部分を焼き・冷やし・蒸しの三つの調理法で処理したものを計量した場合、糖量に差はあまり見られなかった。今後は、低温障害に視点を向けて実験を行いたい。

1. 研究目的

(1) 動機

以前、課題研究の論文集を見ていた時に、バナナを加熱すると甘くなるという先行研究を見つけた。その研究に興味を持った私たちはその研究での甘さの測り方について調べた。すると、糖度計で測るというものだった。糖度計の出す値がどのように決まっているのかについて調べると、糖度計による甘さの判定と実際の糖量は違うという文献を見つけた。文献によると、果物の甘さを表す指標として使われている糖度は brix 糖度というもので、ショ糖溶液の屈折率を指標としている。したがって、ある溶液の屈折率が 10% のショ糖溶液と同じであれば brix 糖度は 10 度となる。様々な溶液の、糖分と brix 糖度を測定すると以下のように変わったと書いてあった。ショ糖の濃度は 10%、糖分は 10%、brix 糖度は 10.1%。果糖の濃度は 10%、糖分は 10%、brix 糖度は 9.7%。クエン酸の濃度は 10%、糖分は 0%、brix 糖度は 9.3%。リンゴ酸の濃度は、10%、糖分は 0%、brix 糖度は 8.1%。味の素の濃度は 10%、糖分は 0%、brix 濃度は 11.1%。食塩の濃度は 10%、糖分は 0%、brix 濃度は 11.8%。このように、糖分 0% でも糖度は 0 ではなく、糖度計とは濃度計ということになる。実際に、レモンを糖度計で測ると実際より高い値が出ると聞いたことがある。そこで、糖の量をより正確に調べたいと考え、糖量を測定できる方法を探したところ、ベルトラン法という実験方法があることを知りその方法で実験を進めることにした。

(2) 目的

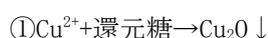
バナナの正しい糖量を測るにあたって、どのように加熱すれば一番甘くなるのかを調べたいと考えた。また、加熱とは反対に冷凍するとどのような糖量の変化があるのかということも調べたいと考えた。そこで、バナナ 1 本を使用して上記の実験を行おうとした。しかし、もし部位によって糖量に違いがあったら正しい実験結果は出ないのではないかと気づいた。そこで、まずバナナ 1 個体における部位ごとの糖量の違いをベルトラン法によって調べた。部位ごとに違いがあったため、部位を統一して、バナナに行う操作において焼くこと、蒸すこと、冷やすことについて実験をすることとした。以後、焼く操作を焼き、蒸す操作を蒸し、冷やす操作を冷凍と呼ぶことにする。焼きは短い時間をかけて強火で火を通す操作で、蒸しは長い時間をかけて弱火で火を通す操作である。加熱する温度の上がり方によって糖量に違いが表れるのかを調べるために焼きと蒸しの二つの操作にした。

2. 研究方法

(1) 原理

ベルトラン法を実験に用いた。ベルトラン法では還元糖のみ定量可能である。バナナにふくまれている糖はブドウ糖、果糖、ショ糖でそのうち還元糖はブドウ糖と果糖なので今回の実験ではその二種類の糖の量を求めることになる。フェーリング液(ベルトラン A 液とベルトラン B 液の等量混合物)中の銅イオン Cu^{2+} を、バナナ液(バナナをすりつぶし蒸留水を

加えてる過したものと定義する。)に含まれる還元糖で還元する(反応①)ことで酸化銅(I) Cu_2O の沈殿が得られる。この沈殿をベルトランC液で溶解する。C液で溶解することでC液中の硫酸鉄(III) $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ が酸化銅(I) Cu_2O によって還元され酸化鉄(II) FeSO_4 になる(反応②)。この酸化鉄(II)を過マンガン酸カリウム溶液で滴定することによって還元糖と反応したCu量を求める(反応③)。また事前に過マンガン酸カリウム溶液をシュウ酸溶液(0.0775mol/L)で滴定しておく(反応④)。反応式は以下に示す通り。



ここで、反応式の係数に注目する。③の式から過マンガン酸カリウム2molは硫酸鉄(II)10molとちょうど反応することがわかる。また、②の式からその10molの硫酸鉄(II)は硫酸銅5molによって生成されることがわかる。このことから、過マンガン酸カリウム1molを滴定に要した場合2.5molの酸化銅が沈殿していたことがわかる。④の式から、シュウ酸5molは過マンガン酸カリウム2molとちょうど反応する。このことと、過マンガン酸カリウム2molは酸化銅5molに相当することから、シュウ酸1molは酸化銅1molに相当する。仮に、シュウ酸をA g 精秤して滴定を行ったとする。その時の過マンガン酸カリウム溶液の滴下量がV₁mlであったとすると、この過マンガン酸カリウム溶液1ml当たりのCu相当量は次の式に代入して計算することによって求めることができる。

$$\text{Cu 量 (mg)} = A \times \frac{127.1}{134.0} \times \frac{1}{V_1}$$

$$\text{Cu 量 (mg)} = A \times \frac{127.1}{134.0} \times \frac{V_2}{V_1}$$

しかし、今回の私たちの研究では糖量の大小を比較するので、滴定量の多少で判断することにした。

(2) 研究の流れ

バナナを3つの部分に分け、(先端部分から①②③とする。)含まれる糖量が最も多い部分はどこかを調べる(実験①)。その後、使う部分を固定して「焼き」、「蒸し」、「冷凍」の3つの操作を行い、どの条件が最も糖量が多いかを調べる(実験②)。

(3) 実験の手順

実験①、②の手順は同じであるが、使用するバナナ液はそれぞれの実験で変更する(ここではすべて一括してバナナ液と表記する。)

①ベルトランA・B・C液、過マンガン酸カリウム溶液の調製

ベルトランA・B・C液、過マンガン酸カリウム溶液の調製法は高校農業-農業実験のサイトを参考にした。ベルトランA液は、硫酸銅五水和物($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)40gを電子天秤で測りとり、蒸留水に溶かして、メスフラスコを用いて1Lに調製する。ベルトランB液は、ロッシェル塩(酒石酸カリウムナトリウム)($\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)200gと水酸化ナトリウム(NaOH)150gを電子天秤で測りとり、蒸留水に溶かして、メスフラスコを用いて1Lに調製する。B液は強アルカリ溶液なのでポリビンで保存する。ベルトランC液は、硫酸鉄(III)($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$)50gを電子天秤で測りとり、蒸留水に溶かして、メスフラスコを用いて1Lに調製するが、硫酸鉄は水に溶けないので硫酸(H_2SO_4)200mLを徐々に加えながら溶解する。溶けにくいので、一晚スターラーにかけるとよい。私たちが調製を行った時は硫酸を加えても硫酸鉄が溶けなかったため新品の硫酸を使用したところ、溶解することができたので溶けない場合は新品を使うのがよい。過マンガン酸カリウム溶液は、過マンガン酸カリウム(KMnO_4)5gを電子天秤で測りとり、蒸留水に溶かして、メスフラスコを用いて1Lに調製する。保存は褐色ビン。過マンガン酸カリウム溶液の濃度決定には0.0775mol/Lのシュウ酸溶液を用いた。

②バナナ液の調製

バナナを輪切りにし、すり鉢を使ってすりつぶす。

塊がなくなったら、5 g を電子天秤で測り取って、ビーカーにて 150mL 程度の蒸留水に溶かし、吸引ろ過装置を用いて、吸引ろ過を行う。ろ過した液をメスフラスコに入れて 250mL にする。実験②のバナナはあらかじめ輪切りにした後それぞれの操作を行った。焼きは片面 2 分ずつ焼き表面には焦げがついた。蒸しは蓋をして弱火で加熱し 5 分経ったらひっくり返して反対の面も 5 分加熱した。うっすらと焦げがついた。

③酸化銅の沈殿の摘出

ベルトラン A 液とベルトラン B 液を 20ml ずつホールピペットで測り取り、コニカルビーカーにて混合する。沸騰石を加えて突沸を防ぐ。この時、溶液の色は濃い青色である。そこにバナナ液を同じく 20ml 加える。その混合液を加熱する。溶液の色は薄くなり、酸化銅の赤色沈殿ができる。色が薄くなくなるまで加熱を進める。(目安は沸騰してから 3 分。)色の薄くなる程度によってもある程度糖量の大小は把握可能である。(薄ければ薄いほど糖量が多い。万が一加熱の途中で液が完全に透明になってしまった場合は、バナナ液の濃度を薄めて実験しなおす必要がある。私たちが行った実験では透明になることはなかった。)加熱を止めたら、氷水でビーカーを冷却する。沈殿を取り出す際にも吸引ろ過装置を使用した。できるだけ上澄み液のみをガラスフィルターに流すようにし、ビーカー内には沈殿だけが残るようにする。

④ベルトラン C 液による沈殿の溶解

ビーカーにベルトラン C 液を駒込ピペットで少しずつ加え溶解する。ガラスフィルターについてしまった沈殿をとるために、ガラスフィルターにも C 液を加えて沈殿を溶かしきる。加熱しておいた蒸留水でガラスフィルターとろ過鐘をよくすすぎビーカーに流し入れる。沈殿が完全に溶け切らない場合は、スターラーにかけ時間をおいて溶けるまで待つ。それでも溶けない場合は、バナナ水の濃度を薄めて再度③④の手順を行う。

⑤過マンガン酸カリウムによる滴定

沈殿が完全に溶けたのち、過マンガン酸カリウム溶液で滴定を行う。(よく混ざるように、スターラーにかけながら滴定を行った。)滴定前の溶液の色は薄い黄緑色である。終点は、過マンガン酸カリウム溶液の微赤色が 30 秒経っても消えないところである。3 回ずつ滴定を行い、その平均をとる。

3. 結果

実験①

	部分①	部分②	部分③
平均 滴下量	4.55ml	4.08ml	5.33ml

実験②

	焼き	蒸し	冷凍
平均 滴下量	4.31ml	4.29ml	3.42ml

4. 考察

実験①の結果より、バナナの部位③、①、②の順に糖量が多いことが分かった。これには、バナナの育ち方や太陽の光の当たり方が関係しているのではないかと考えられる。木から栄養を吸収しているので、幹に近い部分③に糖がたまりやすいのではないかと考えた。しかしその考え方をすると部分②より部分①の糖量が多いことに疑問が生まれる。そこで、部分②よりも部分①のほうが糖量が多かったのは部分①のほうが太陽の光が当たりやすく(バナナは根元の部分が下で先のほうが上向きに育つ)栄養分や糖分がしやすいのではないかと考えた。また、実験②の結果より、焼き、蒸し、冷凍の順で糖量が多いことが分かった。加熱しなかったバナナに含まれていた糖量と焼き、蒸しのバナナに含まれていた糖量に大きな違いがみられなかったので加熱しても糖の量は変化しないと考えられる。先行研究ではバナナを加熱すると糖量は増えるという結果が出ていたので、実験過程に不備があったと考えることもできる。実験の正確性を上げて実験する必要があると感じた。しかし、

わずかに蒸しよりも焼きの糖量が多かった。蒸しよりも焼きのほうが水分は飛ぶ。水分が飛んだことで、糖がより凝縮され、測定した糖量に差が出たのではないかと考えた。冷凍したバナナの糖量が減少した原因は低温障害にあるのではないかと考えている。低温障害とは、バナナを冷蔵・冷凍することでバナナの皮が黒くなってしまう現象のことである。これは、13℃以下になると皮の細胞が壊れ、酵素の働きが活性化することでポリフェノール(抗酸化物質)が生成されることによっておこる障害で、その抗酸化物質が糖量になにかしら影響を与えているのではないかと予想している。

5. 結論

バナナの糖量が多いのは根元の部分である。また、加熱による糖量の増加は確認できなかったため言及はできない。冷凍すると糖量は減るため、バナナを食す際に冷凍することはお勧めしない。実験の結果からわかる最も糖量が多いバナナの食べ方は「バナナの根元の部分を何も手を加えずに食べる」である。

6. 今後の展望

まず、実験②の加熱において実験失敗という可能性があるので、正しい糖量を測定するために実験の正確性を上げなければならないと反省している。実験の正確性を上げて、今回の実験の再実験ができればデータの正確性も上がると考えられる。その実験において、加熱することによりバナナの糖量が増えることが確かめられたら、今回の実験では温度をはからなかったなので、加熱時間や加熱温度を細かく設定して測定し、よりバナナの糖量が多くなる条件を見つけたい。また、冷凍することにより糖量が減った原因を低温障害に視点を当てて探っていきたい。そして、バナナにおいて同じ糖量の場合、 α グルコース・ β グルコースの割合の変化で人間が感じる甘さは変化するのかについても考慮して実験を行いたいと考えている。糖の量がそのまま人間の感じる甘さに繋がるのかについてもあやふやなので今回の実験では単に糖の量だけに注目したが同じ量でもどの

糖がより甘く感じるのかなど糖の種類にも注目して実験を行う必要があると感じている。また、シュガースポット(バナナが成熟すると皮に現れてくる茶色い斑点のことで一般に糖度が増して甘くなっているといわれている)がある部分とない部分の糖量の違いについても調べたいと思った。

7. 謝辞

課題研究を行う上でたくさんの先生方に手助けをしていただきました。またベルトラン法という方法を見つけてくださいました。そのおかげでスムーズに実験を進めることが出来ました。本当にありがとうございました。

8. 参考文献

- 1) 高校農業・農業実験
(食品化学実験：還元糖の定量)
(岐阜県教育委員会)
https://gakuen.gifu-net.ed.jp/contents/kou_nougyou/jikken/index.html
- 2) バナナの追熟及び加熱調理による糖組成の変化
(著:伊藤 聖子 葛西 麻紀子 加藤 陽治)
2013年
- 3) 株式会社メカトロニクス
(糖度と糖分について)
<https://mechatronics.co.jp/>

植物に対するミミズの嗜好性

入江海音、大田悠貴、木田慶汰、立田晃也、寺岡秀徳

アブストラクト

ミミズがどのようにして植物の種類を認識し分解しているのかという疑問について調べるため本実験を行った。ミミズの個体数の比較及び、分解された植物の質量の変化という二つの観点から、ミミズの嗜好性を探った。個体数、質量のどちらにおいても、ミミズが特定の植物を好むという傾向は、見られなかった。このことから、ミミズに好む植物はない、また、植物の違いを認識することができないと考えられる。今後、ミミズの触覚や嗅覚に着目した実験を行うことで、さらに考察を深めていきたい。

1. 研究目的

自宅で飼い犬に新しい種類の餌をあげていた時に、今までよりもよく食べたことから、動物にも食べ物の好みがあることを改めて認識した。その際、犬や人間は目も見えているうえに嗅覚も発達しているため食べ物の違いを認識できているが、目も耳も見当たらないミミズは、餌を食べる際に、餌の違いを認識できているのかと疑問に思った。そこで、ミミズの餌となる植物を用いてミミズは餌の違いを認識できているのか、植物に対してミミズの嗜好性が存在するのか研究したいと考えた。

2. 研究方法

先行研究において、針葉樹よりも広葉樹の方がミミズの餌としての質が高く、分解されやすいことが分かっている。よって、ミミズは針葉樹と広葉樹の違いを識別し、広葉樹の方を好んで食べるという仮説を立てた。そのうえで、植物の種類の違いによるミミズの行動の差に着目していくつかの実験を行い検証した。

(1) 植物の質量による比較 1

- ① 2つの容器（縦 97mm、横 160mm、深さ 86mm、プラスチック）に班員自宅近辺の山の土を 750g ずつ入れる。
- ② 2つの容器のうち、1つにはクリの葉、もう一方にはスギの葉をそれぞれ 5.0g ずつ入れる。
- ③ 2つの容器のうち、クリの葉を入れた容器を A、スギの葉を入れた容器を B とし、それぞれの容器にミミズを 12 匹ずつ入れる。

- ④ 2週間後にそれぞれの葉の質量の変化を測定する。

(2) 植物の質量による比較 2

- ① 6つの容器（縦 97mm、横 160mm、深さ 86mm、プラスチック）に班員自宅近辺にある山の土を 120g ずつ入れる。
- ② 6つの容器のうち、3つにカイノキの葉 1.0g、残りの 3つにスギの葉を 1.0g ずつ入れる。
- ③ カイノキの葉を入れた容器のうち 2つにミミズを 4 匹ずつ入れ容器 A, B とし、カイノキの葉だけを入れた残りの 1つの容器を容器 E とする。
- ④ スギの葉を入れた容器のうち 2つにミミズを 4 匹ずつ入れ、容器 C, D とし、スギの葉だけを入れた残りの 1つの容器を容器 F とする。
(表 1 参照)
- ⑤ 6つの容器全てをインキュベータ内に入れ、20°C一定に保ち、飼育する。(写真 1 参照)

表 1

A	カイノキ+ミミズ
B	カイノキ+ミミズ
C	スギ+ミミズ
D	スギ+ミミズ
E	カイノキのみ
F	スギのみ



写真 1

⑥38 日後と 47 日後の 2 回、植物の質量を測定する。

(3) ミミズの個体数による比較

- ①水槽（縦 160mm、横 350mm、深さ 235mm、ガラス）の中に、底から 25mm となるように学校の畑の土を入れる。
- ②図 1 のように、水槽の半分より右側の端にカイノキの葉、半分より左側の端にスギの葉を 2.5g ずつ入れ、土の中央にミミズを 15 匹入れる。
（下の図は水槽を真上から見たときのもので、黒塗りは土を表している。）

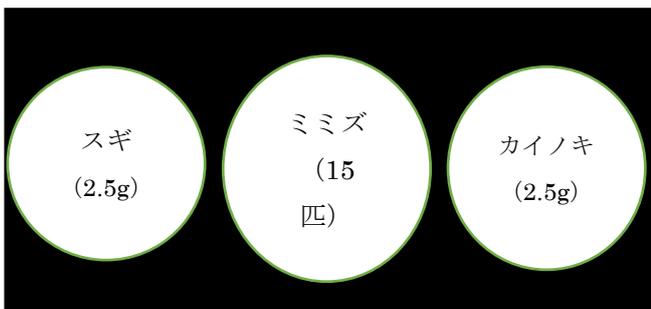


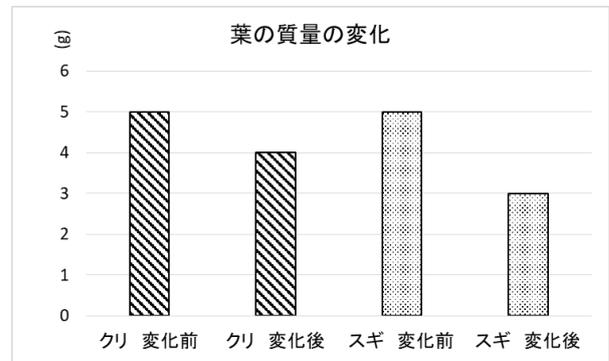
図 1

- ③インキュベータ内に水槽を入れ、温度を一定（20℃）に保ち、飼育する。
- ④一定期間後、水槽の半分から右側と左側にいるミミズの個体数をそれぞれ数える。その後、水槽内の土をかき混ぜた後、数えたミミズとは異なるミミズと入れ替え、水槽の中央に入れなおし、再び飼育後ミミズの個体数を数える作業を 5 回繰り返す。（この実験は 2 度行い、1 度目

は 3 日ごと、2 度目は 1 日ごとのミミズの個体数を計測した。）

3. 結果

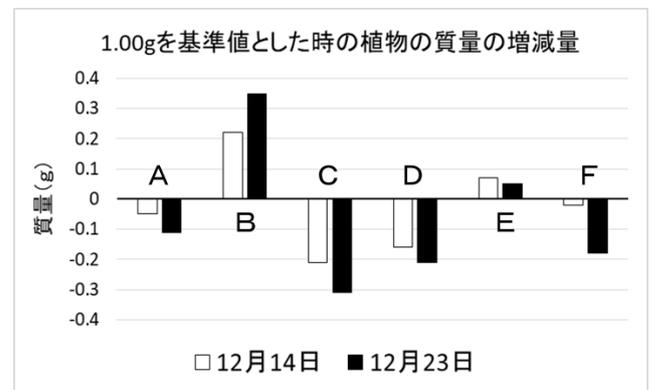
(1) 植物の質量による比較 1



グラフ 1

グラフ 1 よりスギの葉は 5.0g から 3.0g、クリの葉は 5.0g から 4.0 に減少した。針葉樹よりも広葉樹の質量の減少量の方が大きいという仮説とは、反対の結果が得られた。

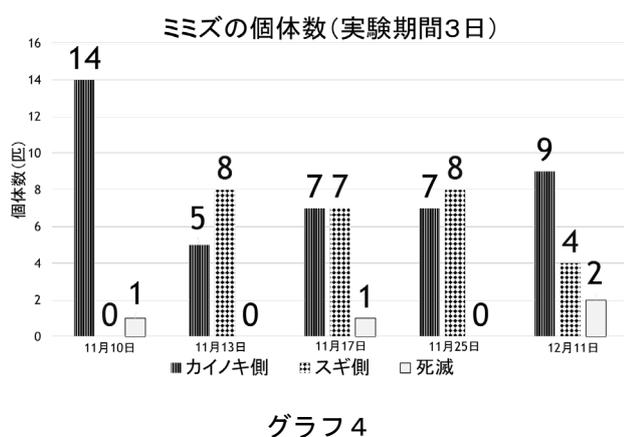
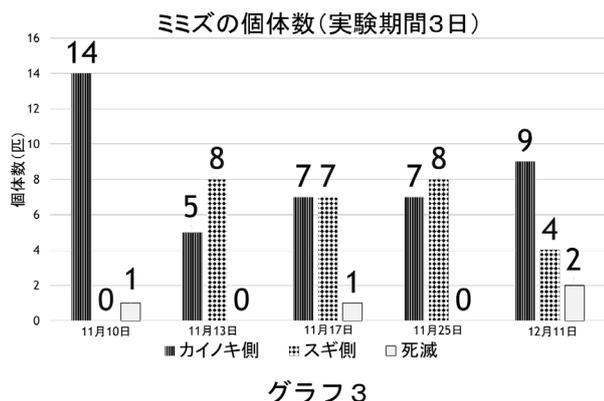
(2) 植物の質量による比較 2



グラフ 2

グラフ 2 より、A, C, D, F の容器では質量が減少したが、大きな差は見られなかった。また、B, E では、葉の質量は減少せず、増加した。前述したスギとクリの比較のときと同様、広葉樹の質量の減少量よりも、針葉樹の質量の減少量の方が大きいという、仮説とは反対の結果が得られた。

(3) ミミズの個体数による比較



グラフ 3 は 3 日おき、グラフ 4 は 1 日おきのミミズの個体数の変化を表す。

まずグラフ 3 を見ると、11 月 10 日にカイノキ側に 14 匹集まるという大きな偏りは見られたものの、5 回を通してみると、大きな差は見られなかった。広葉樹側に移動するという仮説とは異なる結果が得られた。

また、グラフ 4 より、12 月 22 日にスギ側に 14 匹集まるという大きな偏りが見られたものの、他の 4 日間はほとんど半分ずつに分かれており、5 回を通して見ると、大きな差は見られなかった。

1 日おきの観察でも、3 日沖野場合と同様、仮説とは異なる結果が得られた。

4. 考察

(1) 植物の質量による比較 1 について

先行研究で、針葉樹よりも広葉樹の方が餌としての質が高く、分解されやすいという記述があっ

たため、広葉樹であるクリの葉の方が針葉樹であるスギよりも質量の減少量が大きいという仮説を立てていた。しかし、グラフ 1 にあるように、この実験では針葉樹であるスギの葉の質量の減少量が大きかった。これは、実験の途中でクリを入れた容器中のミミズが、死滅によって半分以下になってしまったことで、2 つの容器の中のミミズの数が変わってしまったことや、質量を量る際、土を落とすときに、スギの葉の一部が水によって流れてしまったことが影響していると考えられる。

(2) 植物の質量による比較 2 について

グラフ 2 について、まず、針葉樹であるスギの葉を入れた C, D, F の容器について見てみる。予想通り、ミミズを入れた容器である C, D の方が、ミミズを入れていない容器である F よりも減少量が大きかった。しかし、0.2g ほどの差であったため、有意差があると結論づけるのは難しい。このような結果になったのは、研究の期間が短かったことや、ミミズの飼育数が少なかったことによると考えられる。次に広葉樹であるカイノキの葉を入れた A, B, E の容器について見てみる。まず、B, E では質量が増加した。これは、質量を量る際、可能な限り土を取り除いたが、B, E はそれでもなお葉に土が付着していたためと考えられる。また、A は減少したが、C, D と比べると大きな変化は見られなかった。広葉樹であるカイノキの葉を入れた A, B, E と、針葉樹であるスギの葉を入れた C, D, F の質量を比較すると、先行研究にあった、針葉樹よりも、広葉樹の方が分解されやすいことを実証することはできなかった。

(3) ミミズの個体数による比較について

グラフ 3 の 11 月 10 日カイノキ側、グラフ 4 の 12 月 22 日スギ側に大きな偏りが見られたものの、それ以外の日においては、カイノキ側に 8 匹スギ側に 7 匹というように、大きな差は見られなかった。また、グラフ 3 は 3 日ごと、グラフ 4 は 1 日ごとの個体数の差を示したもののだが、どちらにも大きな傾向の違いは見られなかった。この実

験より、特定の葉の方向にミミズが移動したとは言えず、ミミズによる葉の識別行動を確認することはできなかった。

5. 結論

(1) 今回の実験からの結論

3つの実験を通して、特定の植物にミミズが移動したことや、特定の葉だけ質量が大きく減少することは見られなかったことから、植物に対するミミズの嗜好性の違いはないと思われる。しかし、試用した葉の種類が少ないことや、ミミズが葉に触れる回数と分解量の関係が考慮できていないことから、ミミズがたまたま近くにあるものを分解しているのか、それとも好みの葉があるのかについて、さらに研究の余地はある。

(2) 今後の展望

①葉の種類を変えての実験

今回の実験では、針葉樹、広葉樹として比較的人手しやすいスギとカイノキを用いた。今後、もっと多くの種類の葉を使って実験を行うことで、今回の結論が、他の種類の葉においても言えるのかどうか確かめたい。また、広葉樹、針葉樹以外の比較についても、ミミズの嗜好性がないか確かめたい。

②化学物質を用いた実験

同種の葉に、ミミズに無害かつ、特有のにおいを放つ化学物質を塗布し、塗布しなかった葉と比べてミミズの行動に差が見られるか調べたい。そうすることで、ミミズに嗅覚が備わっているかという観点から、ミミズの嗜好性について探りたい。

③分解度の異なる葉での比較

今回の実験では、葉のもともとの分解の度合いを統一させるため、木から落ちてそれほど時間の経っていない、ある程度硬さの残る葉を用いた。そのためにミミズに嗜好性が見られなかった可能性も考えられる。そこで、今回よりも分解の進んだ葉を用いて、個体数や質量を比較する実験を行うことで、今回の結論の信憑性を探りたい。

④ミミズの種類を変えての実験

今回は、ミミズの数も多く確保すること、採取地による差をなくすこと、採取した個体による差を極力なくすことの観点から、釣具屋で市販されている釣り餌用のシマミミズを用いて実験を行った。フトミミズなどの他の種類のミミズで実験を行うことで特定の種類にだけでなく、すべてのミミズに共通する嗜好性があるかどうか調べることができると考えられる。

⑤同じ容器内に多種の葉を入れて行う実験

今回は行えなかったが、先行研究に、1種類の葉の土地での分解速度よりも、多くの種類の葉がある土地での分解速度の方が大きいという記述があった。このことから、同じ容器内にて植物の種類が増えた場合ミミズの行動に変化が現れる可能性がある。よって今後、1つの容器内に様々な種類の植物の葉を入れて実験を行うことで、単一種の時と違いが出るのか比較したい。

⑥微生物を極力減らしての実験

微生物を極力減らした状態で実験を行うことで、微生物の影響に左右されない、ミミズ本体だけの行動による葉の分解量のデータを得られると考えられる。

6. 謝辞

篠原先生をはじめ、多くの先生方に御協力いただいた。

7. 参考文献

「針葉樹人工林と広葉樹人工林とのミミズ群集の比較」 安藤麻菜 喜多知代 河原輝彦著、2008年東京農業大学農学集報

<https://agriknowledge.affrc.go.jp>

「微生物のいない環境でミミズがとる行動」

稲村晋作 岡島幹樹著、

www.jstage.jst.go.jp > kagakutoseibutsu

> _pdf > -char

バッタおよびダンゴムシの異なる波長の光に対する反応

班員 水津海斗 藤井孝有 石坂駿 山鳥慧希

アブストラクト

今日、アフリカや西アジアなどではサバクトビバッタの大量発生により、農作物が食い荒らされるという被害が多く報告されており、そのバッタの生態に私たちは興味を抱いた。また、同じ節足動物であるダンゴムシも農作物に被害を与える害虫であり、比較実験することとした。対象を容器に入れ、波長の異なる3種類の光を当て、一定時間後の位置を確認した。バッタは日光や紫外線に集まる一方で、赤色光に偏った反応を示さなかった。ダンゴムシは日光や紫外線から遠ざかる一方、赤色光に偏った反応を示さなかった。今後は光の強度を変えて実験を行いたい。

1. 研究目的

アフリカや西アジアを主とする地域では大雨の影響でサバクトビバッタが大量発生しており、それらが餌を求め大移動することにより、農作物に大きな被害が出ていることをニュースで知った。

そこで、バッタをはじめとする様々な虫による被害の対策に関する先行研究等を調べたところ、光を利用して害虫を駆除するという農業的対策があることが分かった。その方法で蝗害を減少させることができるのではないかと考え、特に光の波長の違いに注目して研究を進めることとした。また、ダンゴムシも大量繁殖による農作物の食害が起こっていることを知り、バッタと同様に光を利用して被害を減らせるのではないかと考え、合わせて実験することとした。

2. 仮説

バッタは餌となる植物のよく育つ草原など、日当たりが良く明るい場所に生息していることから、光源の近くに集まるのではないかと予測した。

ダンゴムシは岩陰や花壇の土の中、ブロックのうらなど、比較的暗く湿度の高い場所に生息していることから、暗い場所に集まるのではないかと予測した。

3. 研究方法

縦30cm、横40cm、高さ25cmの段ボール箱を用意し、バッタを6匹、ダンゴムシを7匹それぞれ入れ

た。そこに波長の異なる3種類の光をそれぞれ一定時間照射した。この実験を各20回ずつ行った。また本実験では、以下に記した道具および生物を使用した。

使用した道具、生物

- ・段ボール箱（縦30cm、横40cm、高さ25cm）
- ・紫外線ランプ
- ・LED(赤)
- ・ラップ
- ・黒画用紙
- ・ストップウォッチ
- ・光源装置
- ・ワニロクリップ
- ・バッタ（毎回本校グラウンドで捕獲）
- ・ダンゴムシ（飼育し、毎回同じ個体を使用）
- ・虫かご
- ・土
- ・水

実験1

段ボール箱にバッタを入れ、半分を黒画用紙で覆い、さらにその上部から赤色LEDを当て、3分間放置した。（図1）

実験2

段ボール箱にダンゴムシを入れ、半分を黒画用紙で覆い、さらにその上部から赤色LEDを当て、5分

間放置した。(図1)

ダンゴムシは移動に時間が掛かるため、バッタと同様の手順で、5分間放置することとした。

実験3

段ボール箱にバッタを入れ、半分を黒画用紙で覆い、さらにその上部から日光を当て、3分間放置した。(図1)

実験4

段ボール箱にダンゴムシを入れ、半分を黒画用紙で覆い、さらにその上部から日光を当て、5分間放置した。(図1)



図1 実験で使用した装置

実験5

段ボール箱にバッタを入れ、半分を黒画用紙で覆い、さらにその上部から紫外線を当て、3分間放置した。(図2)

実験6

段ボール箱にダンゴムシを入れ、半分を黒画用紙で覆い、さらにその上部から紫外線を当て、5分間放置した。(図2)



図2 実験5および実験6に使用した装置

実験7

段ボール箱にバッタを入れ、全体を黒画用紙で覆い、3分間放置した。

実験8

段ボール箱にダンゴムシを入れ、全体を黒画用紙で覆い、5分間放置した。

表1 実験に使用した器具や生物

実験名	赤色LE D	黒画用紙	日光	紫外線	バッタor ダンゴム シ
実験1	●	●			バッタ
実験2	●	●			ダンゴムシ
実験3		●	●		バッタ
実験4		●	●		ダンゴムシ
実験5		●		●	バッタ
実験6		●		●	ダンゴムシ
実験7		●			バッタ
実験8		●			ダンゴムシ

各実験に使用した器具を●で示した。

4. 結果

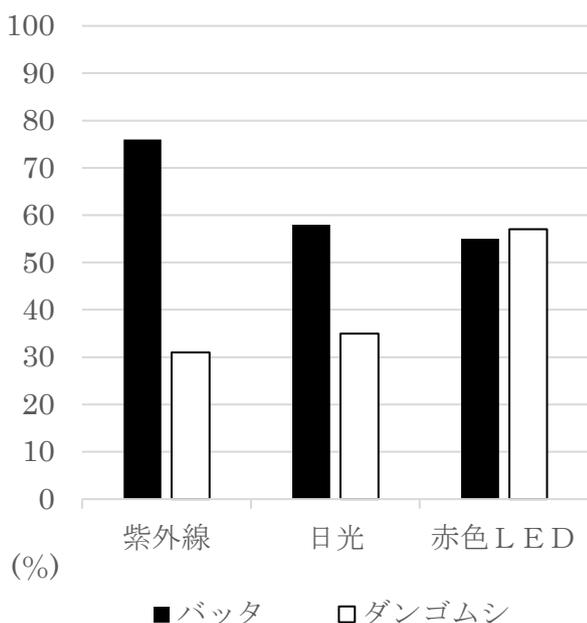


図3 光源側に存在した個体数の割合

実験1

赤色LEDの光にはあまり反応を示さなかった。

実験2

赤色LEDにはあまり反応を示さず、段ボール箱全体に様に散らばっていた。

実験3

図3のように、バッタは日光側に近づく反応を示した。

実験4

図3のように、ダンゴムシは日光側から遠ざかる反応を示した。

実験5

図3のように、バッタは紫外線側に近づく反応を示した。この反応は、日光に対する反応よりも大きかった。

実験6

図3のように紫外線側から遠ざかる反応を示し

た。この反応は、ダンゴムシの日光に対する反応の大きさとほぼ同様であった。

実験7

バッタは箱全体一様に散らばった。

実験8

ダンゴムシが箱の端に寄る反応がみられた。

5. 考察

バッタは赤色光に対しては偏った反応を示さず、それ以外の白色光や紫外線に対しては光源によく集まり、紫外線はより顕著であった。このことから、バッタは基本的に光に対して正の走光性を示すことがわかった。

また、バッタとダンゴムシは、本実験で使用した3種類の光源の内、赤色は知覚できない（参考文献より）。そのため、バッタはより知覚しやすい波長の光側に集まると考えられる。

一方、ダンゴムシは知覚できるどの光に対しても反応は示さず、暗闇側に集まった。このことから、ダンゴムシには負の走光性があると考えられる。

実験8においては時間が経つにつれて端に散らばっていった。これは、もともと狭く暗い場所を好むダンゴムシが、時間が経って動き出したことが原因だと思われる。

6. 結論

バッタは、今回使用した3種類の光源のうち、紫外線に最も顕著な反応を示した。そこで農地周辺などに紫外線の光源を設置することで、バッタが集まり、虫害の減少ひいては解決につながると考える。また、ダンゴムシは暗闇を好む反応を示したことから、光源を農地周辺に設置する、または日陰の面積や日陰になる時間を減らすと、虫害の減少ひいては解決につながると考える。

今回は光の波長のみを変えて実験を行った。今後の展望として、光の強さを変化させることによるダンゴムシ、バッタの反応の変化を観察していきたいと考えている。

7. 謝辞

本研究を進めるにあたり、担当教員の稲井先生には多大な助言、支援を賜りました。厚く御礼申し上げます。

また、松田先生や河村先生をはじめとする諸先生方には実験を滞りなく進めるためにご協力していただきました。ここにお礼申し上げます。

8. 参考文献

・「光を利用した害虫駆除のための手引き」農業・食品産業技術総合研究機構中央農業総合研究センター、2014年

https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/narc_hikarigaichu_man.pdf

・「光に対する昆虫の反応とその利用技術」本田健一郎、2011年

https://www.jstage.jst.go.jp/article/sobim/35/4/35_233/_pdf/-char/ja

プラセボ効果の学習への応用

山田 真優、藤村 真里、前原 小春

アブストラクト

プラセボ効果が学習に応用できるかを実験で検証した。実験対象者を3つのグループに分け、多数の図形から形状の異なるものを見分けるテストと、示した漢字を反転させて書かせるテストを行い、それぞれについてプラセボ効果が見られるかを対象群を設けて実験を行った。しかし、被験者数が少なく結果の差もわずかだったため、プラセボ効果があるとは言い切れなかった。

1. 研究目的

効き目がある成分が何も入っていない薬を服用しても、患者が飲んでる薬は効き目があると思いつくことで、病気の症状が改善することがある。これはプラセボ効果と呼ばれ、主に医療に使われている。これを用いて、学力を向上させられるのではないかと考えた。

プラセボ効果により学習の定着を早めることができると仮説を立て、検証することにした。

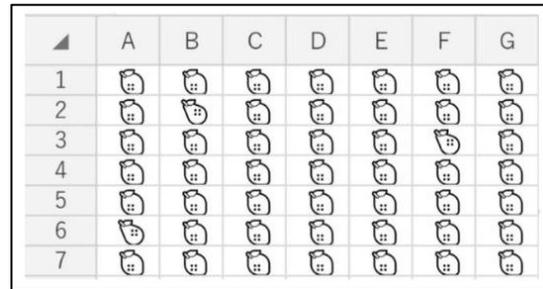


図 1

2. 研究方法

(1) 実験 1

被験者を各グループ 11 人の 3つのグループに分け、数の図形から形状の異なるものを3つ選ぶ図1のようなテストを5回行った。

1回目は、全員同じテストを行い、2、3回目はグループ②、③のプリントに応援イラスト(図2)を載せた。4、5回目は、2、3回目の条件に加え、グループ③のプリントに「応援イラストがあると集中できる」と書き、プラセボとした。また、5回の実験で問題はすべて変えた。解答に要する時間を記録した。

〈グループ分け〉

グループ① テストに必要な情報のみ載せる

グループ② グループ①に加えてイラストは載せるが効果については載せない

グループ③ グループ①に加えてイラストとともにその効果も短い文で載せる

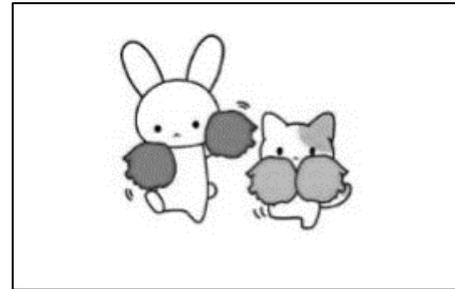


図 2

(2) 実験 2

実験対象者を実験 1 とは異なるメンバーになるように 9 人、8 人、9 人の 3 つのグループに分け、決まった時間内に示した漢字を左右反転させて書かせる実験を行った(図 3 参照)。正確に書けた漢字の個数を点数とし 6 点満点でグループごとの平均点を比較した。解答時間については、1 回目は解答時間を 60 秒としたが満点に近い人が多く出たため、グループ間で差を出すために 2 回目からは問題数は同じままで解答時間を 30 秒とした。

1 回目は、全員同じテストを行い、2 回目はグループ②、③のプリントでフォントを明朝体か教科書体に変更した(図 4, 5 参照)。3 回目は、2 回目の条件に加え、グループ③のプリントに「フォントが教科書体だと正答率が上がった」と書き、プラセボとした。また、3 回の実験で問題はすべて変えた。

〈グループ分け〉

グループ① テストに必要な情報のみ載せる

グループ② グループ①に加えてイラストは載せるが効果については載せない

グループ③ グループ①に加えてイラストとともにその効果も短い文で載せる



図 4



図 5

8 班課題研究アンケート 1 日目

集中力に関するアンケートです。60 秒以内にできるだけ多くの問題を解いてください。

※時間を測るので解き始める時は知らせてください。

例題のように鏡に映したときに元の漢字に見えるように漢字の横の空欄に反転させた漢字を書いてください。

〈例題〉	〈解答〉	〈例題〉	〈解答〉
徒		歩	
(1) 理		(2) 数	
(3) 科		(4) 素	
(5) 徳		(6) 服	

図 3

3. 結果

(1) 実験 1

図 1 のような問いに対する解答に要する時間の平均を示した。ここではすべてのグループで所要時間が減少した。また図 6 に 1 回目から 2 回目、2 回目から 3 回目というように解答に要した時間の減少 (秒) を示した。ここからグループ③のみプラセボの効果を伝えた 4 回目に 3 回目から時間がわずかに減少したことがわかる。

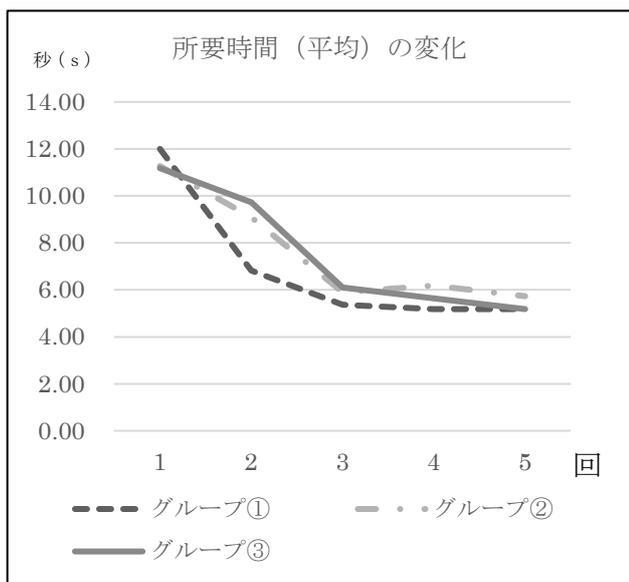


図 6

	1 回目との差	2 回目との差	3 回目との差	4 回目との差
グループ①	-5.3	-1.5	0.2	0.2
グループ②	-2.2	-4.1	0.3	-0.5
グループ③	-1.6	-4.0	-0.6	0.0

図 7

(2) 実験 2

2 回目と 3 回目の得点の差はグループ②とグループ③で等しくなった。グループ①のみ平均点が上昇しなかった。

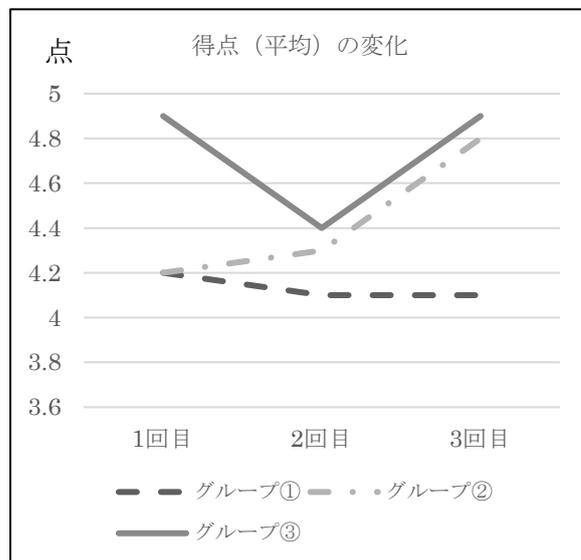


図 8

5. 考察

(1) 実験 1

プラセボ効果を確認する前の 3 回目に全てのグループで十分に学習効果が表れ 4 回目以降に解答に要する時間をこれ以上縮めることがなく、グループ間の十分な差を見いだすことができなかった。グループ③について学習の定着を速めることは確かめられなかった。したがって、プラセボ効果によるものであると言い切ることができなかった。

(2) 実験 2

2 回目で平均点数が減少しているのは、所要時間を 60 秒から 30 秒に減らしていることによる。2 回目と 3 回目はともに 30 秒で行っており、この間の学習定着の様子を比較すると、グループ①では平均点の上昇が見られなかったためフォントを変え見やすくなったことで平均点が上昇した可能性があり、得点の上昇がプラセボ効果によるものだということができなかった。

6. 結論・今後の展望

実験1、実験2ともテスト時に「～することで正答率が上がる」と表示することの効果は見られず、仮説を検証することはできなかった。しかし、実験2でフォントを変えたことの効果が見られたことから、学習の定着を速める方法があることに期待できるのではないかと考えた。今回学習に関して2種類のテストを行ったがこのほかにもテストを行っていききたいと思う。

また、今回の実験では被験者が少なく結果が確実なものではなかったため、今後は結果をより正確なものにするために被験者を増やす、実験回数を増やすなどの工夫をしていきたいと思う。

7. 参考文献

通年性鼻アレルギーに対する E-0659, Disodium Cromoglicate, およびプラセボとの二重盲検法による臨床的検討

https://www.jstage.jst.go.jp/article/orltoky/01958/26/Supplement6/26_Supplement6_563/article/-char/ja/

2つのAIを用いた打音による検査システムの開発

有福遼太郎、富重亮佑
山口県立徳山高等学校

アブストラクト

昨今、高度経済成長期に造られた建物やインフラが耐用年数とされる50年を迎え、建物の老朽化が問題となっている。そこで、PythonとProcessingでソフトウェアをプログラミングし、3Dプリンターを用いながら手軽に打音検査ができるハンマーを開発した。このハンマーによって、コンクリート内部やナットのゆるみを手軽に調べることができるようになった。さらに、取得したデータに合わせてニューラルネットワークを自動で最適化することで、使う程に賢くなるシステムを搭載した。今後は判定の精度を上げ、さらなる実用化を目指したい。

1. 研究目的

日本で起こった多くの震災では、建物が崩れたり傾いたりといった被害が大量に発生しており、高度経済成長期に造られた建物やインフラの老朽化が大きな問題となっている。こうした背景から、現在の建物の劣化状況を調べることは極めて重要である。

しかし、検査には高度に専門的な知識と経験が必要である他、数万～数百万円規模のお金がかかると聞く。

また、スーパーで買ったスイカを切ってみると、中がスカスカでひどく残念な思いをした経験が何度かあり、果物や野菜など、中身がどうなっているか知りたいことは往々にしてある。

そこで、誰もが手軽に使うことができ、コンクリートや果物や野菜などの中身の様子を知ることができるシステムを開発しようと思うようになった。

2. 研究方法

誰もが手軽に使うことができ、コンクリートや果物や野菜などの中身の様子を知ることができるシステムを開発する。

そのために、手軽に取得できる打音を解析しDeep Learningを用いて構築した人工知能(以下AI)が判定する方法を採用した。

打音をAIで解析するシステムは、先行研究として京都大学の桃木昌平氏らによる「打音検査方式弾性波トモグラフィの開発」などが挙げられる。しかしこれらは、多数のセンサー設置が必要だったり、解析に専門的な知識が要求されたり、また、コンクリートに特化したものばかりで検査対象の汎用性が高いとはいえない。

そこで私たちは、ハンマーに取り付けたマイク1個のみを用いて打音を判定することにした。また、より詳細に解析するために2種類のAIを用意し、打音を同時に判定させ、それぞれの判定確率により2つの軸で検査結果を表示する方法を考案した。2つの軸とは、金属-非金属、詰まっている-空っぽである。

一般にAI開発は、ラベル付けされた多量のデータを脳の神経系を模したニューラルネットワークと呼ばれる学習手順を用いて特徴量を蓄積して学習モデルを形成し、次いで、新しいデータをこの学習モデルを使って自動判定させる手順を踏む。

本研究開発に当たって、それぞれの段階で次に示す解決すべき課題があった。

- 課題Ⅰ 打音データの収集と解析手法
- 課題Ⅱ ニューラルネットワークの自動最適化
- 課題Ⅲ AI検査システムの構築と検証

以下にそれぞれの課題解決の手法と評価方法について説明する。

課題Ⅰ「打音データの収集と解析手法」

(1) 研究方法

一般にAIによる判定の精度を大きく左右するのが学習や判定に用いるデータであり、本研

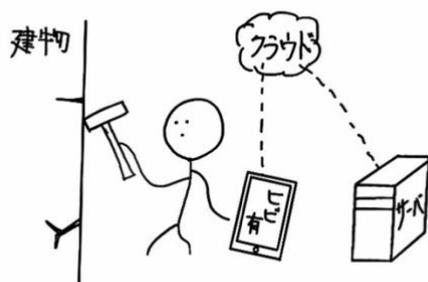


図1 システムのイメージ

究では打音をどうグラフ化するかが重要である。

コンクリートを含む物体の内部を打音で検査するためには、金属—非金属、詰まっている—空っぽの2つの軸が必要だと考えた。それぞれ表1に示す物体をハンマーでたたいたときの打音データをそれぞれ500回分収集する。

	金属	非金属
詰まっている	耐震用の鉄骨 鉄筋	高密度コンクリ ブロック
空っぽ	金属製棚等	プラ製ゴミ箱 木製いす等

表1 学習のために収集した打音データ

なお、音の収集はハンマーに取り付けたマイクで行い、打音は bluetooth を用いてワイヤレスでPCに送られる。ハンマーとマイク、トランスミッターをセットにした筐体は、3Dプリンターで製作した。製作したハンマーが写真1である。



写真1 打音を収集するハンマー

得られた打音データを Deep Learning を用いて学習するために、画像データに変換する必要がある。つまり打音をグラフ化する必要があり、打音をどう解析してグラフ化すべきか、という課題が発生する。検討した解析方法は以下の通りである。

- 方法1 波形
(強度—時間の2次元グラフ)
- 方法2 フーリエ変換
(強度—周波数の2次元グラフ)
- 方法3 フーリエ変換の時間推移(音紋)
(時間—周波数グラフに加えて明暗で強度を表す3次元グラフ)

検討した打音の解析方法

(2) 評価方法

それぞれ同一のニューラルネットワークにおいて生成した学習モデルを利用し、実際にシステムを使用しときの正答率を比較する。

課題II「ニューラルネットワークの自動最適化」

(1) 研究方法

Deep Learning では、脳の神経系を模したニューラルネットワークとよばれる学習手法を用いて大量のデータから特徴量を抽出して学習モデルを生成する。

一般にニューラルネットワークには様々なパラメーターが存在し、正答率の高い学習モデルをつくるには、データに応じてパラメーターの調整が不可欠である。

当初この調整を手動で行っていたが、学習データを追加したり変更したりする度に、数時間~数日の膨大な時間がかかり、研究の大きな障害となった。

そこで表2の通り、各種パラメーターの中から影響が大きいものを限定し、自動で最適なニューラルネットワークを採用するシステムを検討した。

パラメーターの名称	パラメーターの数値
隠れ層の数	2層、3層、4層
出力層のドロップアウト	0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5

表2 ニューラルネットワークのパラメーター

表2の各種パラメーターの数値の組み合わせ全18通りのニューラルネットワークに対して、さらにエポック数(繰り返し学習数)を様々に変えて学習を行い、自動で最適なものを採用するシステムとした。

(2) 評価方法

ニューラルネットワーク最適化に必要な作業時間とその正答率を比較する。

課題III「AI検査システムの構築と検証」

(1) 研究方法

課題Iの解決によって得られる最適な学習データと、課題IIの解決によって得られる最適なニューラルネットワークを用いて、高精度な学習モデルを生成することができる。

これを利用して、打音により内部構造を調べるAI検査システムを構築する。

構築したシステムの処理は図2に示す通りである。

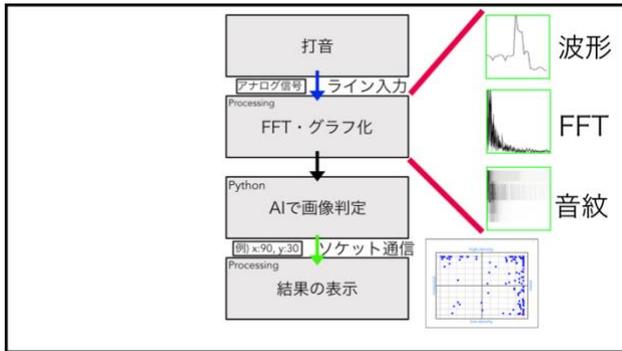


図2 構築したシステムの処理

図2に示すとおり、打音は2つのソフトウェアで処理する。

1つ目は、打音のアナログデータを解析してグラフにして画像化するソフトウェアである。これはビジュアルデザインに長けているといわれるProcessingを用いて構築する。またこのソフトウェアは最終的な判定結果を表示するインターフェースも兼ねている。

2つ目は、画像化された多量の打音データを学習したり、新たに得られた打音データの種別を判定するソフトウェアである。これはTensorflowやKerasなど、Deep Learningを扱うライブラリが充実しているPythonで記述する。

つまり、ProcessingとPythonのそれぞれの長所を利用したソフトウェアをつくり、互いに連携して、ハンマーでたたいて得られた打音を学習モデルを用いて判定し、図3に示す2軸（金属—非金属、詰まっている—空っぽ）のグラフ上でどの位置にあるかを表示するシステムを構築する。

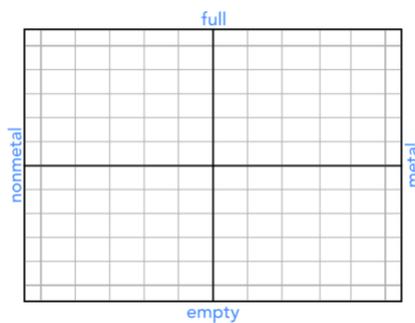


図3 判定結果を平面グラフ上に表示

(2) 評価方法

構築したシステムの性能を以下の方法で評価する。

- 検証方法1 コンクリート内部を判定できるか
- 検証方法2 ナットの緩みを判定できるか
- 検証方法3 瓜の詰まり具合を判定できるか

3. 結果

課題I「打音データの収集と解析手法」の結果

(1) 収集した打音データ

収集した打音データの例を表3に示す。

	金属	非金属
詰まっている	耐震用の鉄骨鉄筋 (500回) 	高密度コンクリートブロック (500回) 
		
空っぽ	金属製棚等 (500回) 	プラ製バケツ 木製いす等 (500回)  
		

表3 収集した打音データの例



写真2 打音を収集している様子

(2) 解析手法とグラフおよび正答率

収集した打音データを解析し、グラフ化した例と、そのグラフ画像を元にして実際に判定したときの正答率を表4に示す。

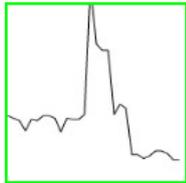
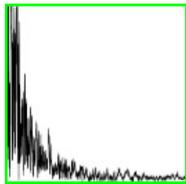
打音の解析手法	解析したグラフの例	正答率の平均値
波形		42%
フーリエ変換		23%
音紋		83%

表4 解析手法とグラフおよび正答率

課題Ⅱ「ニューラルネットワークの自動最適化」の結果

(1) ニューラルネットワークによる正答率

学習データを用いてニューラルネットワークのパラメータおよびエポック数を変化させたと

きに得られた学習モデルの正答率を表5に示す。

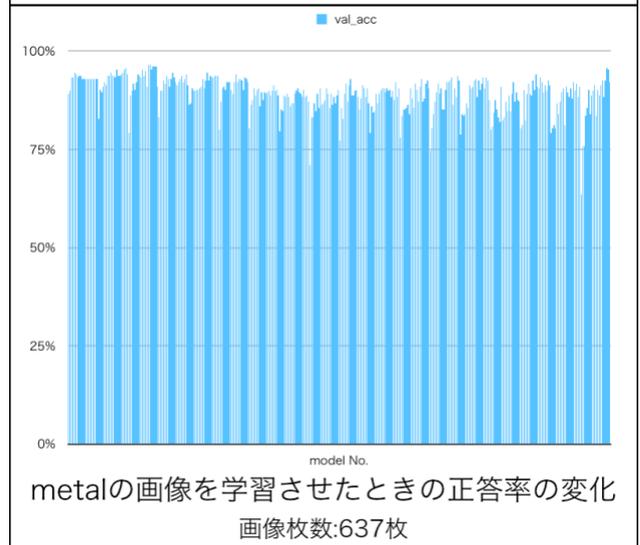
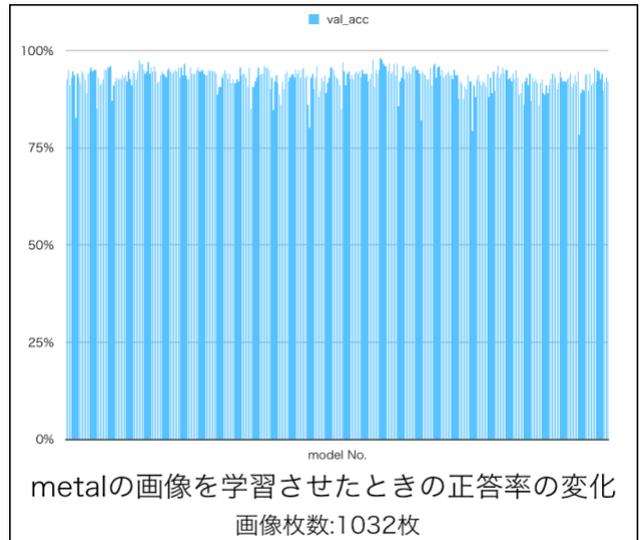


表5 モデル毎の正答率の変化

(2) 最適化に必要な作業時間と正答率

ニューラルネットワークの最適化に関して、従来の手動による方法と、調整するパラメータを限定して自動化した方法で、作業時間と正答率について表6に示す。

方法	作業時間	正答率
手動最適化(従来法)	11時間	88%
自動最適化	4時間	92%

表6 ニューラルネットワークの自動最適化による効果

課題Ⅲ「AI検査システムの構築と検証」の結果

(1) インターフェース

構築したシステムのインターフェースを図4に示す。インターフェースはProcessingでつくられている。左側に打音を解析したグラフが表示され、右側のグラフに打音をAIが判定した結果が表示される。

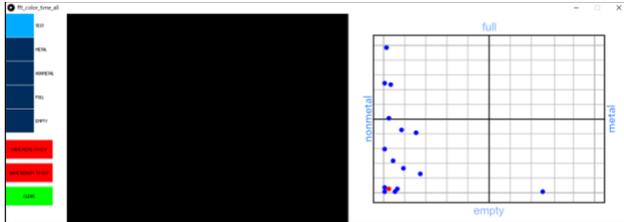


図4 システムのインターフェース

また、このソフトウェアの後ろでは、Pythonでつくった打音を判定するAIが稼働している。

図5にPythonで構築したプログラムのうち、ニューラルネットワークの部分に掲載する。

```

train_den.py
145 def nn(drop, layer):
146     model = Sequential()
147
148     model.add(Conv2D(32, (3, 3),
149                     activation='relu',
150                     input_shape=input_shape))
151     model.add(Conv2D(32, (3, 3),
152                     activation='relu',
153                     input_shape=input_shape))
154     model.add(MaxPooling2D(pool_size=(2, 2)))
155     model.add(Dropout(0.2))
156
157     model.add(Conv2D(64, (3, 3),
158                     activation='relu',
159                     input_shape=input_shape))
160     model.add(Conv2D(64, (3, 3),
161                     activation='relu',
162                     input_shape=input_shape))
163     model.add(MaxPooling2D(pool_size=(2, 2)))
164     model.add(Dropout(0.2))
165
166     if layer >= 3:
167         model.add(Conv2D(128, (3, 3),
168                         activation='relu',
169                         input_shape=input_shape))
170         model.add(Conv2D(128, (3, 3),
171                         activation='relu',
172                         input_shape=input_shape))
173         model.add(MaxPooling2D(pool_size=(2, 2)))
174         model.add(Dropout(0.2))
175
176     if layer >= 4:
177         model.add(Conv2D(256, (3, 3),
178                         activation='relu',
179                         input_shape=input_shape))
180         model.add(Conv2D(256, (3, 3),
181                         activation='relu',
182                         input_shape=input_shape))
183         model.add(MaxPooling2D(pool_size=(2, 2)))
184         model.add(Dropout(0.2))
185

```

図5 Python プログラムの一部

(2) AI 検査システムの検証結果

3つの方法を用いて構築したAI検査システムの性能を検証した。

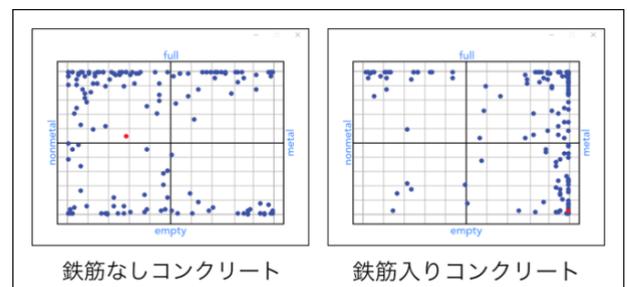
検証方法1 コンクリート内部を判定できるか

写真3に示す自作した内部に鉄筋を入れたコンクリートと入れていないコンクリートを用意した。ハンマーでたたき、構築したAI

検査システムで判定した結果が図6である。

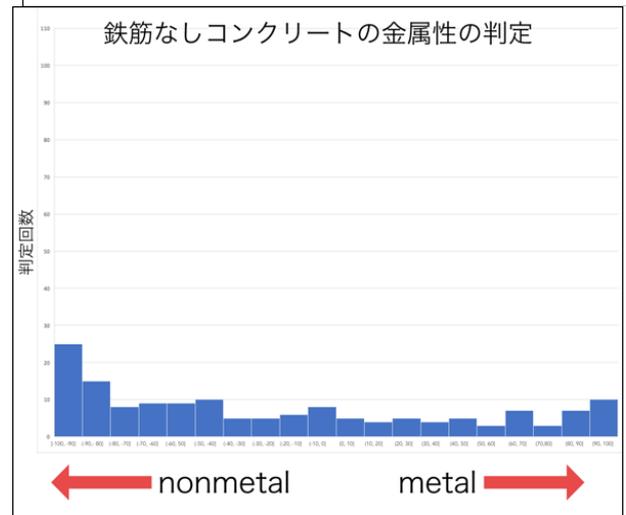


写真3 2種類のコンクリート

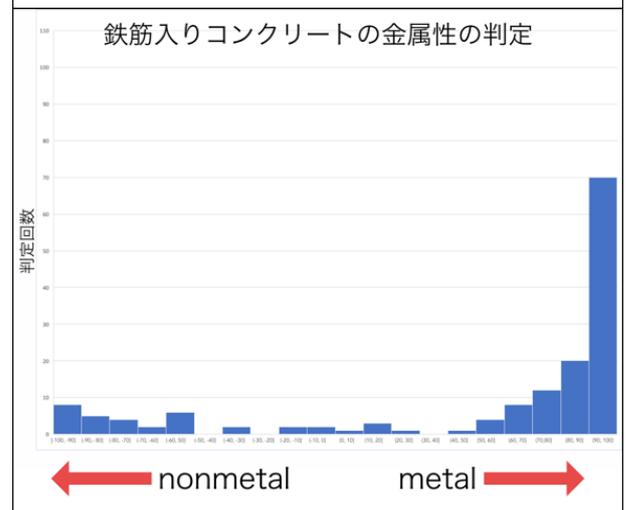


鉄筋なしコンクリート

鉄筋入りコンクリート



← nonmetal metal →



← nonmetal metal →

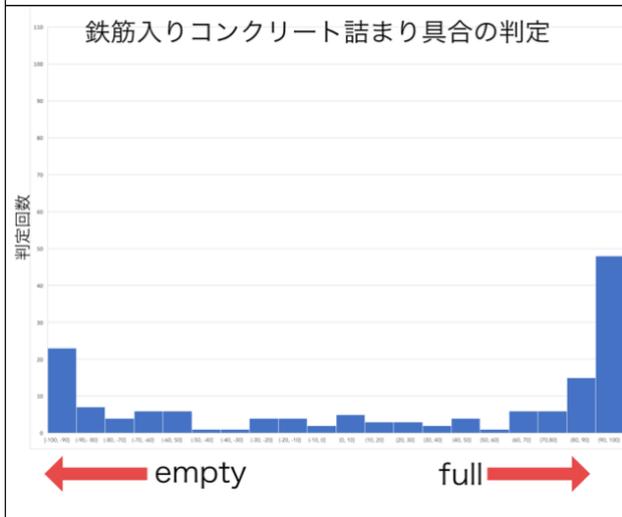
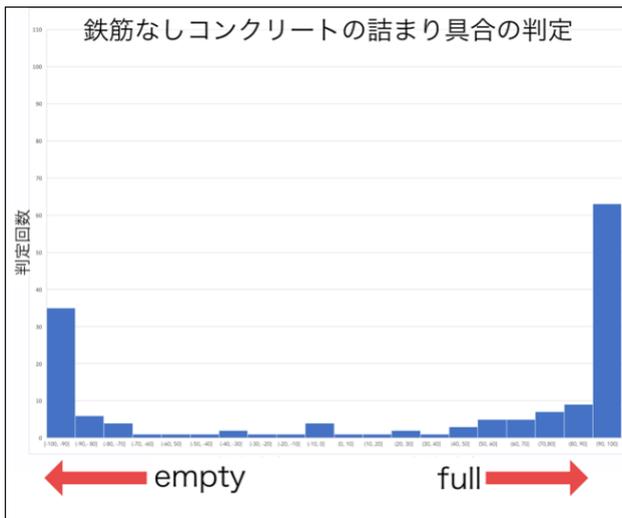


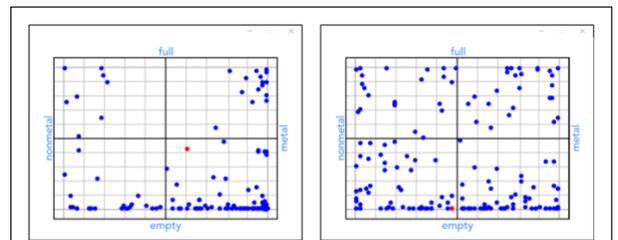
図6 AIが判定したコンクリートの打音

検証方法2 ナットの緩みを判定できるか

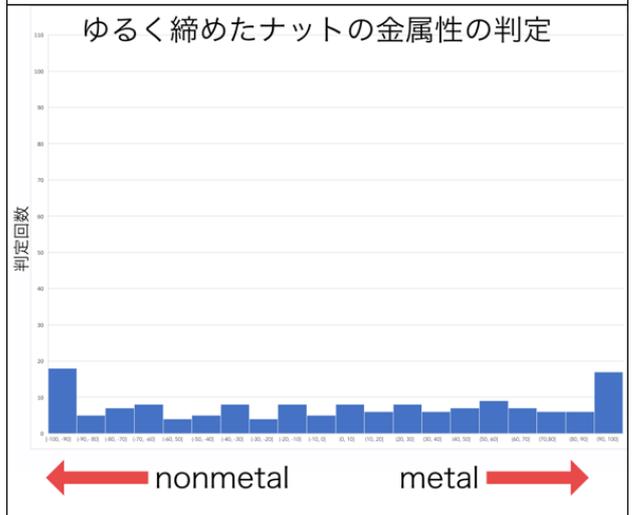
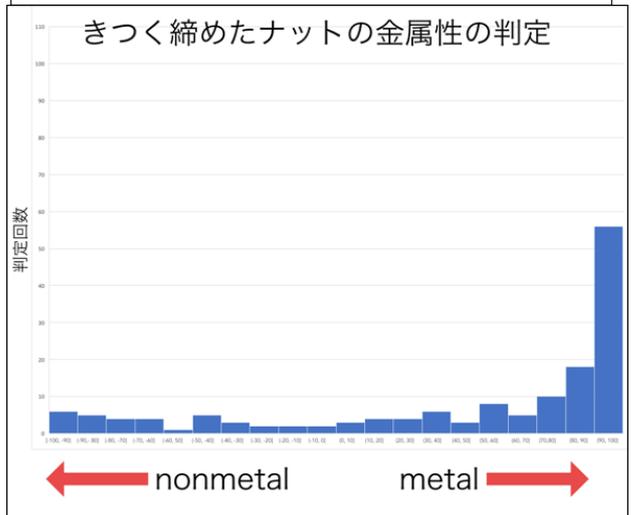
写真4に示す通り、コンクリートで固定した2本の太いねじにナットをつけ、一方はきつく締め、もう一方はわずかにゆるめる。ハンマーでたたき、構築したAI検査システムで判定した結果が図7である。



写真4 2種類のナット



きつく締めたナット ゆるく締めたナット



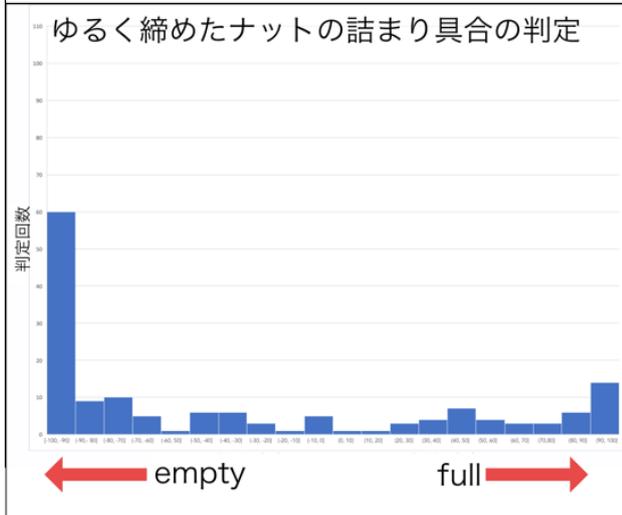
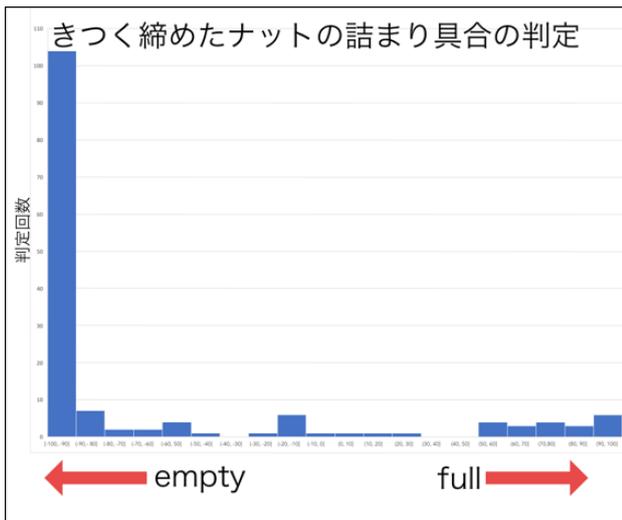


図7 A Iが判定したナットの打音

検証方法3 瓜の詰まり具合を判定できるか

写真5に示す通り、わずかに密度が異なる瓜を用意する。測定した瓜の質量、体積、密度は表7の通りである。ハンマーを使用すると瓜が傷つくため、手袋にマイクとトランスミッターを装着した装置で瓜をたたき、構築したA I検査システムで判定した結果が図8である。

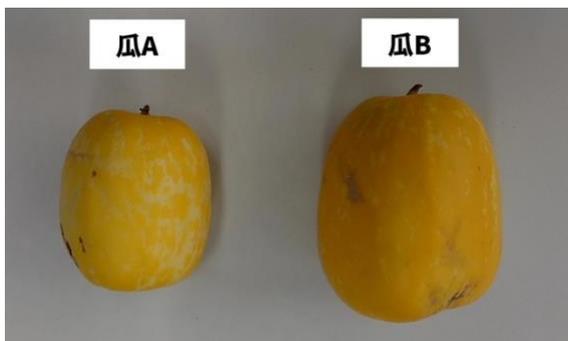
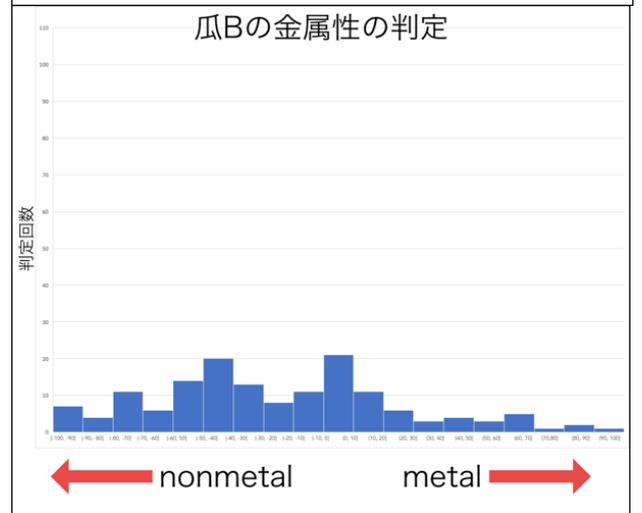
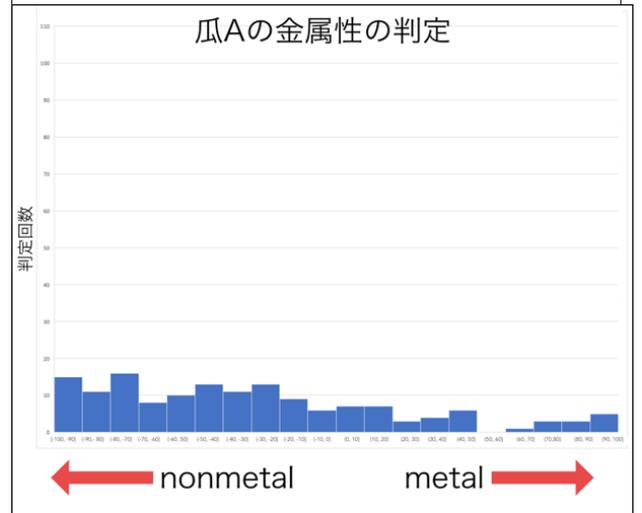
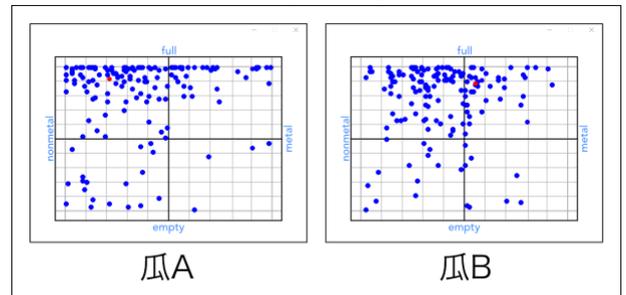


写真5 2種類の瓜

	質量	体積	密度
瓜A	486g	540cm ³	0.90g/cm ³
瓜B	796g	915cm ³	0.87g/cm ³

表7 瓜の密度



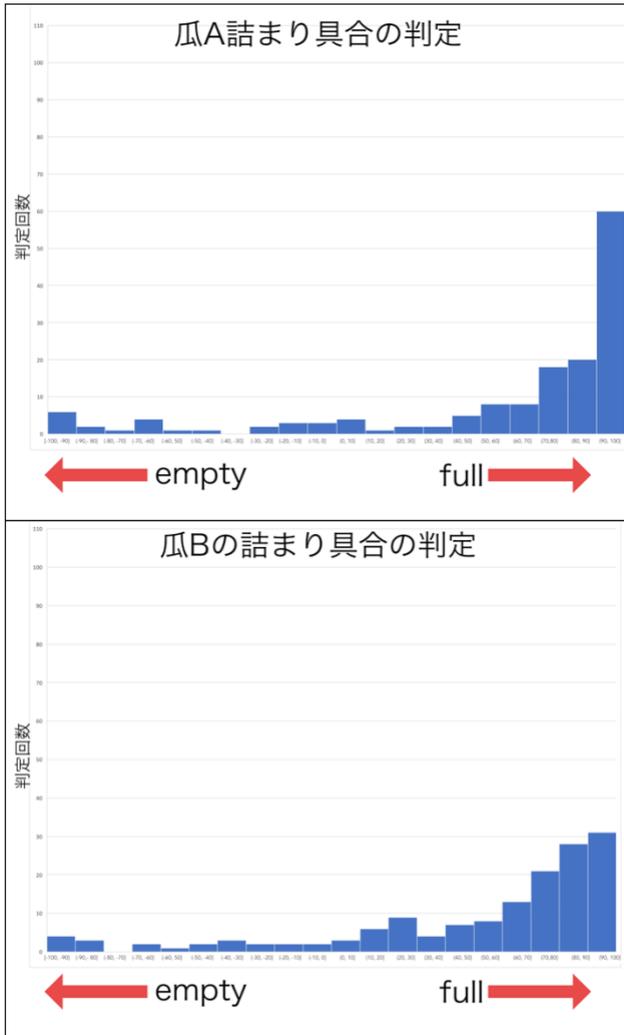


図8 AIが判定した瓜の打音

4. 考察

課題Ⅰ「打音データの収集と解析手法」の考察

表4のAIの正答率から、解析手法で適しているのは音紋だと考えられる。

これは、音波の強度と時間変化、フーリエ変換の周波数と強度というそれぞれ2つの情報に比べて、音紋は周波数と強度およびその時間変化という3つの情報を持っており、1つの画像データからより多くの特徴量を学習することができるためだと考えられる。

この課題解決により、取得した打音を音紋に画像変換することで、高精度で判定できる学習モデルを形成することが可能になった。

課題Ⅱ「ニューラルネットワークの自動最適化」の考察

表5から、ニューラルネットワークのパラメータやエポック数を変えると、得られた学習モデルの正答率が様々に変化することが分かる。このうち、最大の正答率をもつ学習モデルが必要であ

るが、表5をつくる作業を自動化するシステムをつくった。

表6は、パラメータの調整作業を手動でした場合と、自動で行った場合の作業時間や到達できた正答率を表している。正答率にわずかな差ができるのは、AIは学習に乱数を用いているためである。

開発した自動最適化により、調整に要していた11時間を4時間に短縮することができるようになった。現在、夜中の研究が止まっている間に最適化システムを動かしている。研究中に打音検査に用いたデータを学習データに追加しておけば、翌朝には最適化されたニューラルネットワークが得られるようになっている。つまり、自動化により他にリソースを割くことができるようになるとともに、使うほどに勝手に賢くなる有効なシステムを構築することができた。

課題Ⅲ「AI検査システムの構築と検証」

課題ⅠおよびⅡの解決方法を統合して、AI検査システムを開発し、3種類の方法で検証した。

検証方法1 コンクリ内部を判定できるか

写真3から、コンクリートのみの物体と、中に鉄筋を入れたコンクリートは、見た目の違いがないことが分かる。

しかし、開発したAIシステムを用いて打音を判定すると、図6から分かるように、詰まり具合の判定には両者に違いは現れていないが、鉄筋入りコンクリートのほうが金属性を持つことを示している。これは、打音に非金属であるコンクリートからの音の他に、内部の金属音が混じっていることが原因と推測される。

以上のことより、開発したシステムでコンクリート内部の鉄筋の有無を調べられることが分かった。

検証方法2 ナットの緩みを判定できるか

写真4から、きつく閉まっているナットときつく閉まっていないナットでは、見た目の違いはないことが分かる。なお、ナットは両者とも素手による開け閉めはできない程度のきつきである。

しかし、開発したAIシステムを用いて打音を判定すると、図7から分かるように、詰まり具合の判定には両者に違いは現れていないが、ゆるいナットはより非金属側に判定されることが多いことが分かる。これは、打音に低周波の音が混じっていることが原因と推測される。

以上のことより、開発したシステムでナットの緩みを調べられることが分かった。

検証方法3 瓜の詰まり具合を判定できるか

写真5および表7から、2つの瓜は密度がわずかに異なることが分かる。

開発したAIシステムを用いて打音を判定すると、図8から分かるように、詰まり具合に違いはないが、金属性に違いが見られた。

これは、瓜の密度がわずか3%しか違いがないことによるものだと考えられる。また、大きい瓜の非金属性が小さくなっているが、これは、瓜の大きさが打音に影響している可能性があるが、この理由はまだ不明である。今後サンプル数を増やすなどして改めて検討したい。

また、表1に示すように、AI開発に用いた学習データには果物は含まれていないため、システムの検査対象として不向きであったとも考えられる。

以上のことから、開発したシステムは、現時点では瓜のわずかな密度差を判定することは難しいことが分かった。

5. 結論

開発した2種類のAIを用いた打音検査システムは、目標とした「誰もが手軽に使い、かつ安価で正確に材質の状態を検査できる」という機能の基礎部分を概ね実現したと考えている。

しかしながら、現時点ではコンクリートやナットなど、比較的堅い物体の検査には適応できたが、果物の比較的やわらかい物体の検査は難しい状態である。この原因は、AIの学習に用いた打音データによるものが大きい。今後は、さらに検査の対象物を広げ、精度を上げるめ、コンクリートやナットのみならず、スイカやカボチャなど、幅広く打音の取得をしていきたいと考える。

また、本研究の大きな特徴である2種類のAIによる判定は、ユーザーにとって非常に分かりやすく、今後ブラッシュアップを図っていきたい。

近い将来、本研究のシステムの活用によって、建物の老朽化等の対策をより個人的なレベルで行うことができると考える。さらに、中がスカスカのスイカを買って残念な思いをする人も減らすことができるであろう。

今後は、上記のような課題を解決し、さらなる実用化を目指したい。

6. 謝辞

なかなか結果の出ない研究を最後まで温かく見守り、適切な指導を賜った指導教諭の末谷健志先生に感謝いたします。

また、本研究は公益財団法人武田科学振興財団から助成をいただいています。

7. 参考文献

- ・「コンクリート構造物健全性評価のための弾性波トモグラフィ手法に関する研究」桃木 昌平 著 (京都大学)
- ・「初めてのディープラーニング」武井宏将 著 (リックテレコム)
- ・「いちばんやさしいディープラーニング入門教室」谷岡 広樹・康 鑫 著 (ソーステック)
- ・Processing クリエイティブコーディング入門 田所 淳 著 (技術評論社)

A I と脳波で集中を可視化する ——人工知能による学習効率向上システムの開発——

山口県立徳山高等学校 安東稜都 野見山真 寄元海渡

1. 要旨

学習にどれだけ集中して取り組んでいるのかを可視化したいと考え、Deep Learning (深層学習) 技術でA Iを構築し、脳波から集中の状態をリアルタイムに可視化するソフトウェアを開発した。さらに結果を学習者にフィードバックすることで、学習効率が向上する結果が得られた。今後はさらにプログラム等の改良を続けて実用化を目指したい。

2. 研究背景と目的

「意識して物事に取り組む」、「集中して勉強する」といった言葉を、学校生活を送る上でよく耳にするが、精神的な意味は理解できるものの、集中できているのかを客観的に把握することは難しい。

私たちは図1、表1、図2に示す簡易脳波計を用いて勉強中の自らの脳波を測定してみたところ、集中をしているときと集中していないときは脳波に明らかな違いがあることが分かった。



図1 簡易脳波計「muse」



図2 脳波を測定している様子

そこで私たちは、脳波の波形をA Iで判定すれば、学習者がどれほど集中しているかをリアルタイムで数値化できると考えた。さらに、この技術を学習者自身にフィードバックすることで、集中状態を持続させ、学習効率を高めることができるのではないかと考えた。

なお、脳波と学習効率については様々な先行研究があるが、例えば学習効率に影響する「集中力」の科学的に確立した定義は存在しない。この理由は、人の学習行動と脳波があまりにも複雑に関係しているからだと考えられている。^[1]

そこで本研究は、画像判定を得意とするDeep Learningを用いてA Iを構築し、学習時の脳波を判定して集中力を可視化し、効率のよい学習を実現すること

開発	InteraXon Inc
主な使用目的	瞑想・ヨガ
測定点	前頭5箇所
通信方法	Bluetooth方式
その他	簡易脳波計として世界中に愛好者がいる

表1 簡易脳波計「muse」の仕様等

を目的とした。

3. 研究方法

一般にAIを構築するには学習データが必要となる。学習データを機械学習することにより、区別するための特徴点を洗い出して学習モデルを生成する。この学習モデルを利用して、新たなデータを自動判定するしくみがAIである。

本研究で開発するシステムは、「集中している」または「集中していない」状態をAIが判定する。AIはそれぞれの判定確率を出力するようにプログラミングする。両者の判定確率の合計は常に100%である。

そこで本研究では、「集中している」および「集中していない」状況を表2のように定義するとともに、「集中力」および「学習効率」を表3のように定義した。

「集中している」	制限時間内で数学や英語の課題に取り組んでいる状態
「集中していない」	何も与えずにリラックスしている状態

表2 状況の定義

「集中力」 0~100	AIが出力する「集中している」の判定確率 [%]
「学習効率」 0~100	測定中の「集中力」の合計 ÷ 測定時間 [%/s]

表3 指標の定義

つまり、「集中している」判定確率が大きいほど、「集中力」が高い状態にあり、これが維持される時間が長いほど、「学習効率」

が高いといえる。

また、「学習効率」と学習課題の得点を比較することで、開発するシステムを評価することができる。

研究I AI判定に用いる脳波の種類検討

(1) 脳波の種類

脳波は複雑な波形であるため、通常周波数分解して解析される。表4に周波数毎に定められた脳波の名称と、その脳波が示す一般的な意味を掲載する。

周波数帯域	名称	意味
0.5-2.75Hz	δ 波	深い睡眠
3.5-6.75Hz	θ 波	直感・創造
7.5-11.75Hz	α 波	リラックス 集中
13-29.75	β 波	思考、警戒
31-49.75Hz	γ 波	記憶、視覚

表4 脳波の種類と名称、一般的な意味

中島孝志著『できる人はなぜ「集中力」がものすごいのか?』(ゴマブックス社)^[2]によると、集中すると脳波のうち θ 波がよく出ると紹介されている。

そこで簡易脳波計「muse」を用いて脳波を測定し、グラフ化することで、 θ 波を含めてどの脳波で「集中している」および「集中していない」が判別できるかを検討する。

(2) 実験方法

表2に示した状況の定義に基づき、脳波を以下の手順で取得して検討した。

- ① 学習者5人に対して、数学の問題や

英単語帳といった課題を用意し、それらを2分という時間制限を設けて取り組ませ、この状態における脳波を取得し、「集中している」とする。

- ② 同じ学習者5人に対して、何も与えずにラックスして待機させ、この状態における脳波を「集中していない」とする。
- ③ ①、②で得られた脳波を比較し、「集中している」と「集中していない」状態が区別できる脳波を検討する。

研究Ⅱ 学習判定システムの構築

(1) AIの学習モデルの生成

AIを構築するため、研究Ⅰで検討した適切な脳波のグラフ画像群に「集中している」、「集中していない」の2つのラベルをつけてDeep Learningで機械学習し、学習モデルを生成する。ラベル付けは画像群を入れるフォルダ名で行う。

なお、Deep LearningのプログラムはGoogle社のTensorFlowやKerasなどAIに関するライブラリが充実しているPython言語を用いて記述する。

(2) システムの構築

学習モデルを利用して、図3に示す手順で新たに取得した脳波をAIが自動判定するシステムを構築する。

なお、AIの自動判定のプログラムはPython言語で、脳波をグラフ化し、判定結果を表示するインターフェースはProcessing言語で記述した。

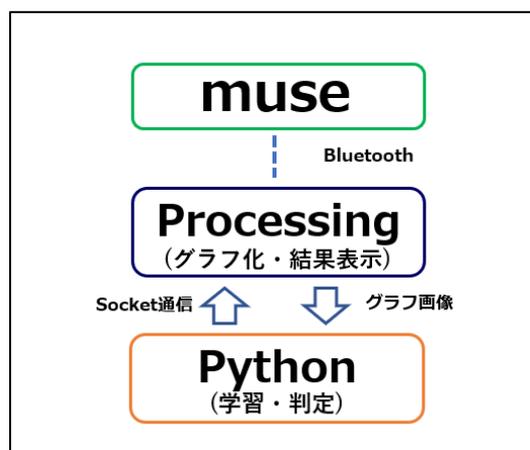


図3 システムの処理手順

システムは以下の手順で脳波を取得し、AIで判定して結果を表示する。

- ① 簡易脳波計「muse」からBluetooth方式で送られてくる脳波のデータをグラフ化して3秒毎に画像ファイルとして保存する。
- ② 保存された画像はすぐに学習モデルに基づいて「集中している」または「集中していない」について判定確率を出力する。
- ③ 判定と判定確率を再びProcessing言語で記述したソフトウェアで受け取り、表示する。
- ④ 判定確率の値に応じて光または音によって学習者にフィードバックする。
- ⑤ ①～④を繰り返し行い、学習時の「集中力」の表示とフィードバックをリアルタイムで行う。

研究Ⅲ 学習判定システムの評価

(1) アンケート調査による評価

個人差がある5名の脳波をもとにしてAIを構築するため、他の被験者にとって正

しく判定できているかを以下の手順で調べる。

- ① 10名の被験者に簡易脳波計を取り付け、課題に取り組ませたり、リラックスさせたりするなどしてAIの判定結果を観察する。
- ② AIの判定を次の4段階でアンケート評価する。

【アンケート】
AIの判定は
・とても正確である
・かなり正確である
・あまり正確でない
・まったく正確でない

(2) フィードバック方法の評価

開発したシステムで得られる「集中力」を学習者自身に知らせることで、「集中力」を高め、「学習効率」とテストの点が向上することが期待される。

そのフィードバックの方法を図4の通り、光と音に分けて、フィードバックをしないとときと比較して検討する。

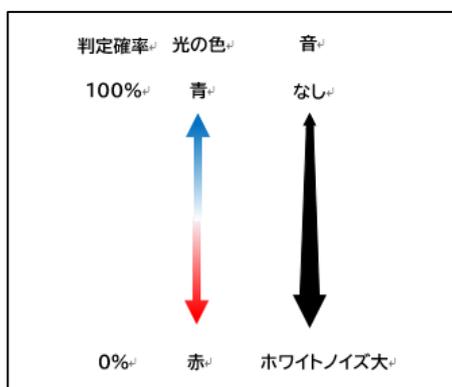


図4 フィードバックの方法

フィードバックをしないと、光によ

るフィードバック、音によるフィードバックをしたときのどちらが学習者にとって適切であるかを以下の手順で評価する。

- ① 4名の学習者に英単語20個を3分で暗記させ、このときの脳波をAIで判定させ、「集中力」を測定する。暗記の後、3分でテストを行い、得点を記録する。
- ② ①とは別に、図4に示すとおり、暗記中に光によるフィードバックや音によるフィードバックをそれぞれ学習者に提供し、①と同様の実験により、脳波と得点を記録する。
- ③ 「学習効率」とテスト得点の比較に加えて被験者の感想を交えて、システムおよびフィードバックの効果を評価する。

(3) 長期学習による評価

実際の勉強スタイルに近い数十分程度の長時間の学習において開発したシステムを評価する。

評価手順は以下の通りである。

- ① 5名の学習者に数学の計算問題を30分間解かせ、このときの脳波をAIで判定させ、「集中力」を測定する。
- ② ①とは別に、光によるフィードバックシステムを学習者に提供し、①と同様の実験により、「集中力」を測定する。
- ③ 「集中力」の推移と「学習効率」の比較をして、長期学習におけるシステムの評価を行う。

なお、②で光によるフィードバックのみとしたのは、研究IIIにより、音よりも光によるフィードバックが適切だと分かったからである。

4. 結果

研究Ⅰ AI判定に用いる脳波の種類検討

取得した脳波の θ 波のみと、脳波全体を表すグラフのうち、代表的なものを図5に示す。ここでの脳波全体とは、脳波を周波数分解した α 波、 β 波、 γ 波、 δ 波、 θ 波全てをグラフで表したものを指す。

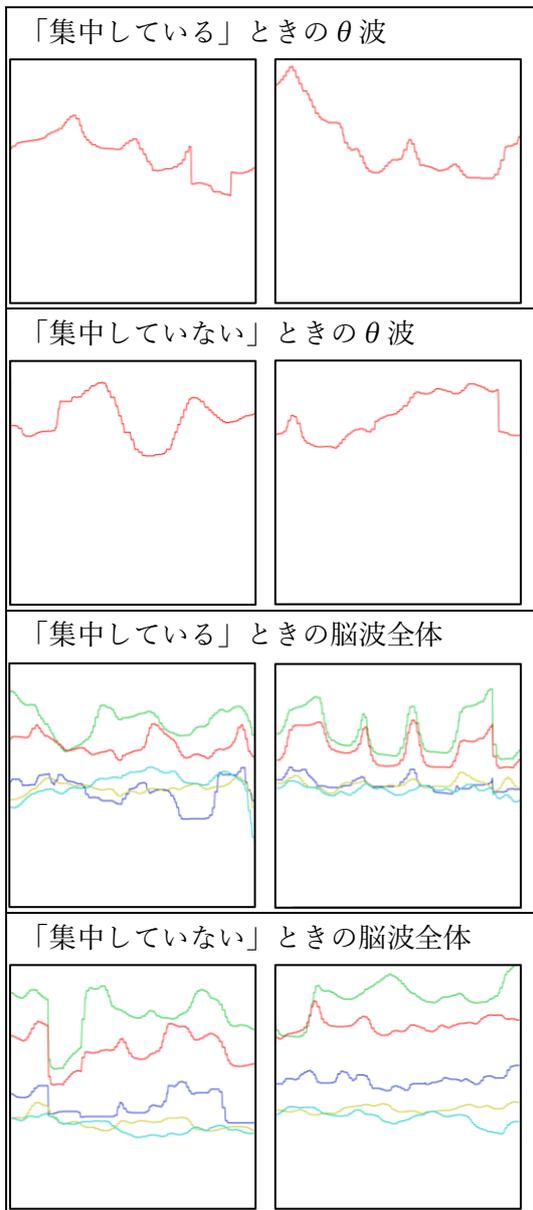


図5 取得した脳波の代表例

研究Ⅱ 学習判定システムの構築

(1) AIの学習モデルの生成

Deep Learningで機械学習して生成した学習モデルは表5であり、学習に用いた脳波グラフの一部は図6の通りである。

判定種類数	2 (「集中している」 「集中していない」)
学習した画像数	465枚
ニューラルネットワーク	2層、40エポック
正答率	93.11%

表5 生成した学習モデル

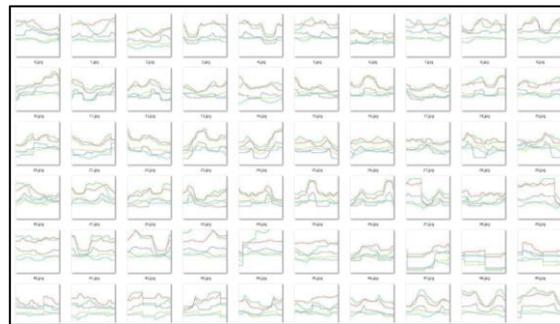


図6 学習に用いた脳波

(2) システムの構築

構築したシステムのインターフェースを図7に示す。

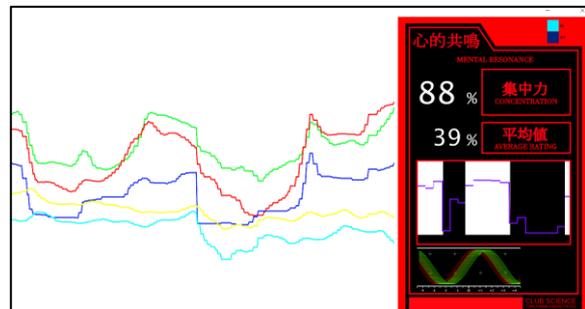


図7 システムのインターフェース

開発したシステムは以下の機能を搭載している。

① 脳波のグラフ表示

α波（青色）、β波（黄色）、
γ波（水色）、δ波（緑色）、
θ波（赤色）

② AIが判定した「集中力」表示

③ 直近3つの「集中力」の平均値表示

④ 「集中力」の時間変化をグラフ表示

なお、Processingのソースコードの一部
を図8に記載する。

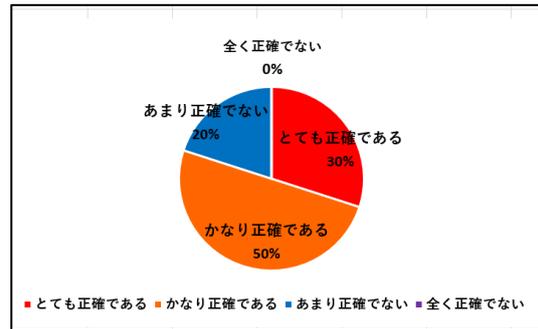
```
304 for(j=0;j<width/3;j++){
305   k = j*3;
306   i = 17;
307   stroke(200,200,20);
308   float y1 = XXX*(float)y[i][j]+4*graph_delta;
309   float y2 = XXX*(float)y[i][j+1]+4*graph_delta;
310   line(int(k),y1,k+x_delta,y2);
311 }
312 for(j=0;j<width/3;j++){
313   k = j*3;
314   i = 21;
315   stroke(0,200,200);
316   float y1 = XXX*(float)y[i][j]+5*graph_delta;
317   float y2 = XXX*(float)y[i][j+1]+5*graph_delta;
318   line(int(k),y1,k+x_delta,y2);
319 }
320 }
321
322 //集中率グラフの描画
323 float shikii = 67;
324 for(j = 0 ;j<1572 ;j++){
325   //for(j = 0 ;j<3144 ;j++){
326     float bbb = 1.4;
327     float y1 = 570-bbb*(float)y[27][j];
328     float y2 = 570-bbb*(float)y[27][j+1];
329     float y3 = bbb*(float)y[27][j+1];
330     float y4 = bbb*(float)y[27][j+1];
331     float y5 = y3-y4;
332     float y6 = y3-y4;
333     if (shikii <= (float)y[27][j]){
334       stroke(255,255,255);
335       rect(1063+0.25*(j+1),383,y5,190);
336     }
337     stroke(89,20,210);
338     line(1063+0.25*j,y1,1063+0.25*(j+1),y2);
339   }
340 }
```

図8 ソースコードの一部
脳波描画の部分（Processing）

研究Ⅲ 学習判定システムの評価

(1) アンケート調査による評価

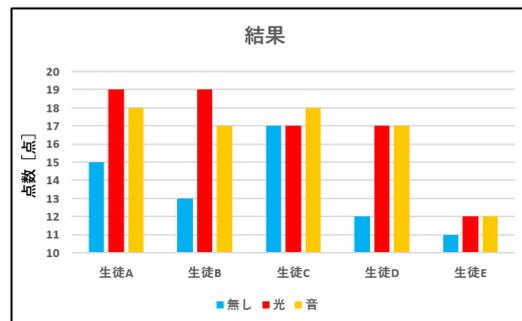
開発したシステムを10名の被験者が
体験し、AIが下す判定の正確性をアン
ケート調査した結果をグラフ1に示す。



グラフ1 AIの正確性

(2) フィードバック方法の評価

グラフ2にフィードバックの方法とテ
ストの点数を示す。



グラフ2 フィードバックの方法と得点

また、被験者の感想は以下の通りであった。

■被験者の感想

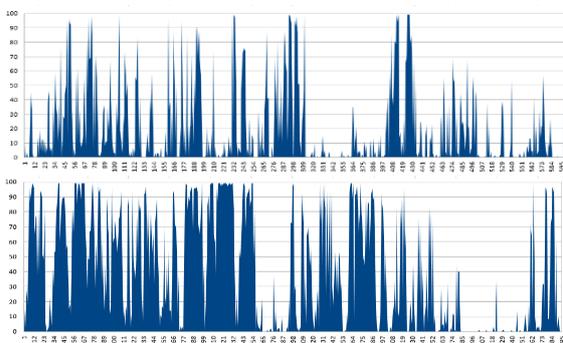
- ・フィードバックによって多少の焦りは感
じたが自分を客観視でき、気が引き締まっ
た。
- ・音によるフィードバックはかえって集中
の妨げになった。
- ・音よりも光のフィードバックのほうが暗
記作業に没頭できた。

(3) 長期学習による評価

30分間の「集中力」の時間変化を図9
に示す。上段はフィードバックなし、下段
は光によるフィードバックありの結果で
ある。縦軸は「集中力」(%)、横軸は時間

経過 (s) を表す。

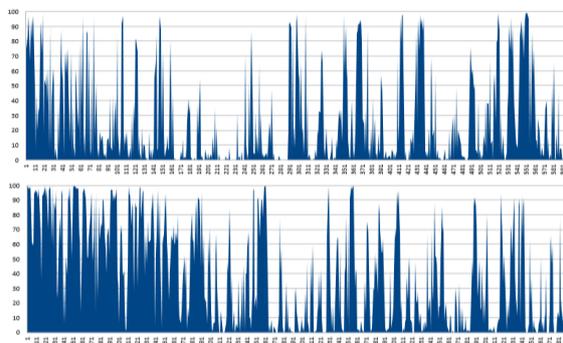
■生徒 1 「勉強にあまり自信はない」



上段；フィードバックなし
下段；光によるフィードバックあり
「学習効率」；20.09→41.27[%/s]

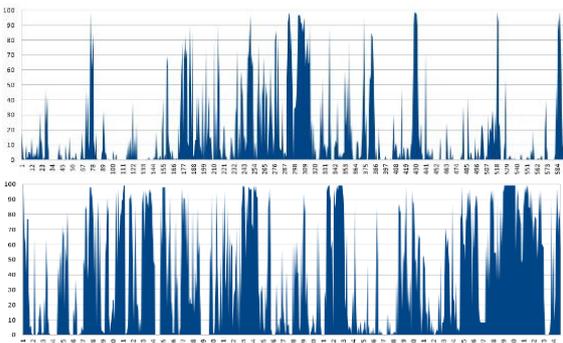
「学習効率」；35.00→34.27[%/s]

■生徒 4 「勉強に自信がない」



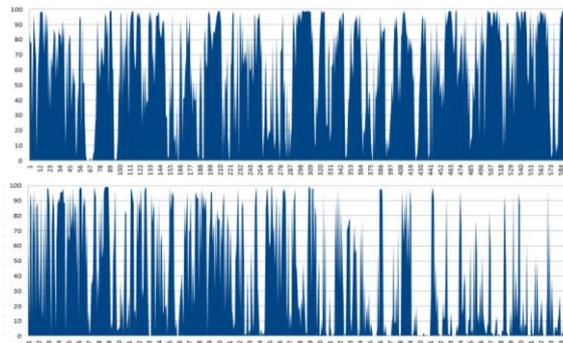
上段；フィードバックなし
下段；光によるフィードバックあり
「学習効率」；26.23→40.24[%/s]

■生徒 2 「勉強にあまり自信がない」



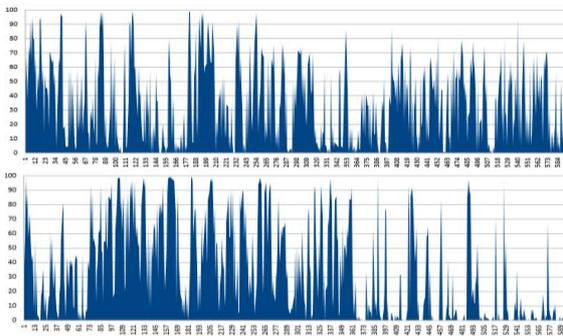
上段；フィードバックなし
下段；光によるフィードバックあり
「学習効率」；17.98→41.54[%/s]

■生徒 5 「集中力に自信がある」



上段；フィードバックなし
下段；光によるフィードバックあり
「学習効率」；63.51→40.31[%/s]

■生徒 3 「集中力の持続に自信がある」



上段；フィードバックなし
下段；光によるフィードバックあり

図 9 「集中力」の時間変化と「学習効率」

5. 考察

研究 I AI 判定に用いる脳波の種類検討

一般に AI の正確性を上げるには、学習や判定に用いる画像が見た目で判別できることが望ましい。

図 4 から分かるように、 θ 波のみの場合、学習に「集中している」または「集中していない」状態の判別は難しいこと

が分かる。

一方、他の脳波を合わせると、「集中している」状態は主に α 波や δ 波が抑圧されグラフの中央に波が集まっている。「集中していない」状態は全体の脳波の強度が小さいため、グラフが分散していることが分かり、両者は判別しやすい。

この結果から、AI判定には全ての脳波(α 、 β 、 γ 、 δ 、 θ 波)のグラフ画像が望ましいことが分かった。

なお、参考文献にある「集中時には θ 波がでる」^[2]という記述については確かめることができなかった。その理由として、用いた簡易脳波計は測定点が前頭のみで限定されていたことが原因かもしれない。

研究Ⅱ 学習判定システムの構築

表5から生成した学習モデルは93.11%という実用に足る正答率を持たせることができた。

またシステムの処理上、簡易脳波計「muse」とPythonおよびProcessingでプログラミングしたソフトウェア間で情報をやりとりするため、処理にタイムラグが生じる可能性があったが、実際に使ってみると、学習者には気にならない程度であり、十分にリアルタイムの測定が可能であった。

研究Ⅲ 学習判定システムの評価

(1) アンケート調査による評価

個人差がある5名の脳波をもとにしてAIを構築したが、グラフ1から分かるように、そのAIによる「集中している」、「集中していない」の判定結果は、一般の被験

者にとっても、おおむね正しく判定できていることが分かった。

(2) フィードバック方法の評価

グラフ2から分かるように、「集中力」を学習者にフィードバックすることで、テストの得点上がることを確かめられた。

また、フィードバックの方法として、得点からは光と音の差異はなかった。しかし、被験者の感想から分かるように、音よりも光によるフィードバックのほうが、学習者の意識の妨げにならず、より適していると考えられる。

(3) 長期学習による評価

図9が示す各生徒の「集中力」の時間変化から、次のことが分かった。

- ・30分間の学習中、「集中力」は常に大きく変動する。
- ・生徒毎に「集中力」および平均値である「学習効率」は大きく異なる。
- ・多くの生徒の場合、「集中力」のフィードバックによって「学習効率」が向上する。
- ・集中の持続に自信がある生徒の1人は本システムによって「学習効率」が落ちる。
- ・勉強の質や集中することに自信のない生徒ほど「学習効率」が向上しやすい傾向がある。

以上のことから、日頃の学習に近い状態においても、脳波のAIによる「集中力」の数値化および数値に応じた学習者へのフィードバックは、おおむね「集中力」の向上と持続を実現させ、「学習効

率」を上げることが分かり、勉強の質や集中することに自信がない生徒ほど効果が大きい傾向があることが分かった。

一方、特に集中や勉強に自信のある生徒は、「集中力」や「学習効率」に変化がないか、逆に下がるケースもあった。使用後の感想にフィードバックの光にストレスを感じ、集中することができなかつたとの意見もあった。より多くの人に対応させるため、フィードバックの改良の必要を感じた。

6. 結論

本研究により、脳波を Deep Learning で機械学習して AI を構築し、判定確率で「集中している」度合いを数値化することができた。また、数値のフィードバックによって、学習者の「集中力」を向上させ、「学習効率」やテストの得点を上げることにおおむね成功し、開発したシステムの有用性を確認することができた。

7. 今後の展望

本研究で開発したシステムの大きな特徴は脳波とリアルタイム性にある。学習時の脳波が常に AI で自動判定され、算出される「集中力」に応じてリアルタイムにフィードバックされる感覚は、常時脳内を見張られているようで、妙な緊張感を覚えた。しかも脳波をもとにしているので言い訳も難しい。人によってはそれが負担になり、かえって集中力を低下させることにつながった事実は納得できる。

一方、学習や集中に苦手意識を持っている人ほど効果があるという傾向は、開発したシステムの大きな可能性を示唆してい

るように感じる。

例えば、本システムを用いて「集中して勉強する」感覚をトレーニングすることができるかもしれない。身につけた感覚は、システムがなくても高い学習効率の実現に貢献するはずである。

今後の改善策は以下の通りである。

- ・学習ファイルを増やし、ニューラルネットワークを工夫するなどして、AI を強化し、より広範囲な学習に対して効果のあるシステムを実現する。
- ・集中を乱さないため、小型デバイスによるフィードバックなど、フィードバックの方法等を改良する

このような改善を重ね、実用化に向けてより一層開発を進めていきたい。

8. 参考文献

- [1] 『「集中力」を科学する！』(菊池陽佑 他)
- [2] 中島孝志『できる人はなぜ「集中力」がものすごいのか?』(ゴマブックス社)

9. 謝辞

データ収集において協力を賜りました生徒の皆様並びに、ご指導を頂いた徳山高校教諭の末谷健志先生に深く感謝を申し上げます。

なお本研究は公益財団法人武田科学振興財団からの助成をいただいています。

メビウスの輪とその拡張

野村篤志 中原貫志 宮本鼓太郎 河津華 山田咲羽 坂田奈緒子

アブストラクト

メビウスの輪からひねりを増やしたもの、また2つを連結させたものをメビウスの輪を切る要領で切るとどうなるのか調べ、規則性があれば公式として一般化することを目的とし、研究を行った。その結果、規則性があることが分かり、公式として一般化することができた。今回の研究で、奇数ひねりの輪を2つ連結させたものを切ることができる輪の数の結果について、偶数ひねりの輪の数の結果と比較して逆の結果が得られた。今後の課題として、どうして逆の結果が得られたのか調べたい。

1. 研究目的

幼いころにメビウスの輪を切ったことを思い出し、メビウスの輪についての研究ができないか考えた。しかし、メビウスの輪については既知の性質が多いため、メビウスの輪のひねりを増やして切るとどうなるのか、また、ひねりの数が同じ輪を2つ連結させてそれぞれをメビウスの輪のように切ったらどうなるのか、貼り合わせる輪の数を増やしたらどうなるのか調べ、規則性があれば公式として一般化することをめざす。

2. 研究方法

<実験器具>

- ・紙
- ・はさみ
- ・ペン
- ・ホッチキス (セロハンテープ)

方法 (nは0以上の整数とする)

以下の試行1, 2, 3, 4, 5を行う (これ以降、試行を(1)のように表す)。

- (1) メビウスの輪($180^\circ \times 1$ ひねり)をつくり (写真1)、中央に入れた線にそって切る (写真1・2)。



写真1

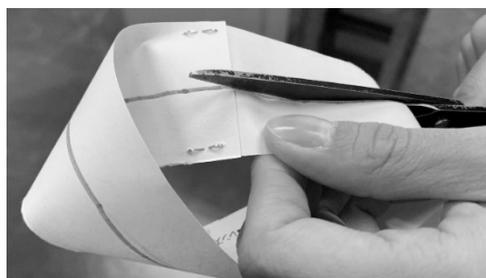


写真2

- (2) $180^\circ \times n$ ひねりの輪を(1)と同様にして切る。
- (3) $180^\circ \times n$ ひねりの輪2つを直角に交わるように、互いの外側にホッチキスで留め、(1)のように2つの輪をそれぞれ切る (写真3)。



写真3

- (4) アニュラス(0ひねりの輪)を複数個、写真4のように連結させていき、(3)と同様にすべての輪を切る。写真4は3つの輪を連結させたものである。

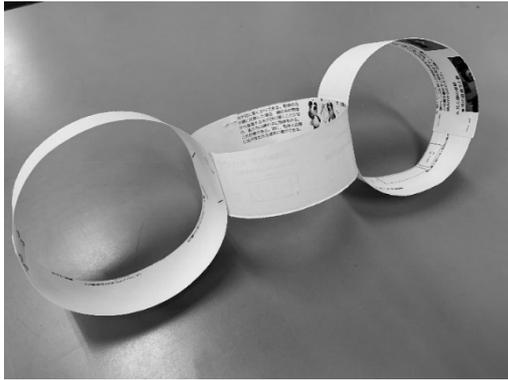


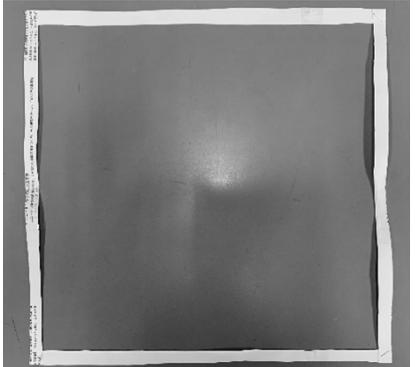
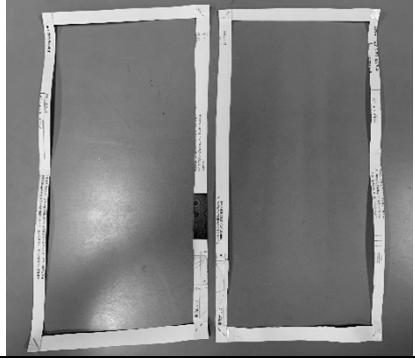
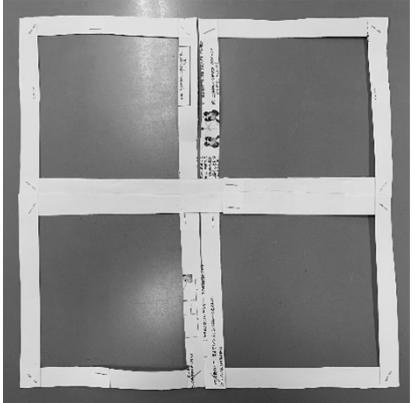
写真4

(5) メビウスの輪を複数個連結させていき、(3)と同様にすべての輪を切る。

3. 結果

結果は以下の表1、2、3のようになった。 **表1**

試行	もとの輪のひねり	できた輪の数	できた輪のひねり
1	0	2	0
			0
2	1	1	4
	2	2	2
			2
	3	1	8
	4	2	4
			4
3	5	1	12
	6	2	6
			6
	0	1	0
	1	2	0
			4
	2	1	8
	3	2	4
		8	
4	4	1	16
	5	2	8
			12
	6	1	24

試行	もとの輪の数	形	表2
4	1		
	2		
	3		
	4		

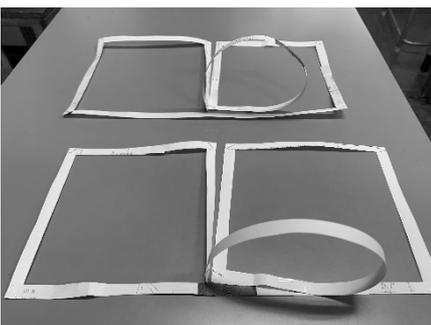
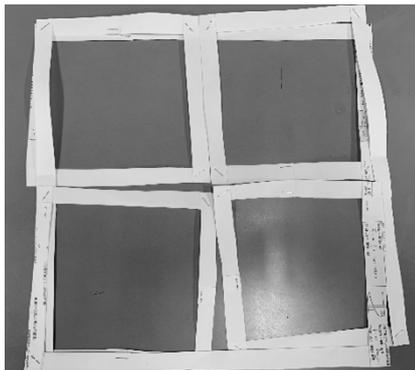
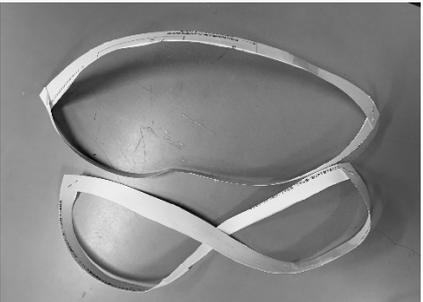
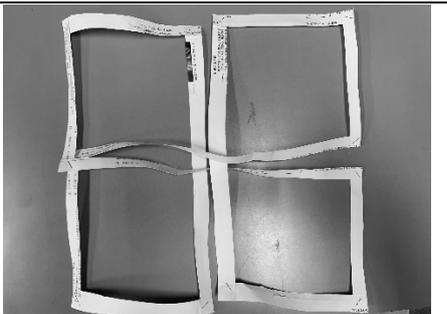
	5	
	6	

表3

試 行 5	1	
	2	
	3	

4	
---	--

(ただし、表1の試行1, 2, 3において、もとのひねりの数、できた輪のひねりの数は、 $180^\circ \times n$ のnのみを表している。)

4. 考察

(1) 試行1・試行2から

偶数ひねりの輪を切ると、もとのひねりの数と同じひねりの輪が2つできる。1つの輪を切ってできる輪の数については、偶数ひねりの輪には裏表の区別があるためと考えられる。

奇数ひねりの輪を切ると、もとの輪のひねりの数を4倍したひねりの輪が1つできる。奇数ひねりの輪には裏表の区別がないため、切ると1つの輪ができると考えられる。

(2) 試行3から

2つの偶数ひねりの輪を連結させたものを切ると、できる輪のひねりの数はもとの1つ1つの輪のひねりの数を4倍したものになる。これは、実際にはそれぞれの輪の数が2倍になり、それに伴ってひねりの数も2倍になることがその理由である、と考えられる。もとの輪を2つ連結させているため、2(倍のひねり) \times 2(つの輪) = 4倍になっていると考えられる。

奇数ひねりの輪では、できた2つの輪のひねりの数の平均がもとの1つ1つの輪のひねりの数の2倍になっていて、さらにできた2つの輪のひねりの差は4になると考えられる。

(3) 試行1・試行2・試行3から

試行2の偶数ひねりの輪、試行3の輪については、できた輪のひねりの合計が、もとの輪のひねりの2倍になっているため、共通の性質(裏表の区別の有無等)があるのではないかと考えている。

試行2の偶数ひねりの輪と試行3の奇数ひねりの輪、試行2の偶数ひねりの輪と試行3の奇数ひねりの輪では、それぞれできた輪の数が一致していることから、共通の性質をもっていると考えられる。

(4) 試行4から

切ってきた輪の数について、もとの連結させるアニュラスの数が偶数のとき、1つの輪ができて、もとの連結させるアニュラスの数が奇数のとき、2つの輪ができると考えられる。

(5) 試行5から

できた輪の形について、試行4と同じような形の輪がみられた(試行4の3個の輪をつないだものと試行5の3個の輪をつないだもの、試行4の4個の輪をつないだものと試行5の4個の輪をつないだものなど)。これらの輪については、試行4の切る前の輪と、試行5の切る前の輪がよく似た性質を持つ、と考えられる。

また、できる輪の回転数については、まだ性質が明らかになっていない。

(6) 試行1~5から

全体的にそれぞれの試行において、ひねりの数や連結させる輪の数が同じものは何らかの共通の性質を持つと考えられる。

(7) 結果から

できる輪のひねりについては、以下の表4のように立式できると考えられる。

表4

試行	もとの輪のひねり ($180^\circ \times$ 奇数 or 偶数)	輪のひねり (ひねり)
試行1	偶数ひねり	n
試行2	奇数ひねり	$4n$
試行3	偶数ひねり	$4n$
	奇数ひねり	$2n-2$ $2n+2$

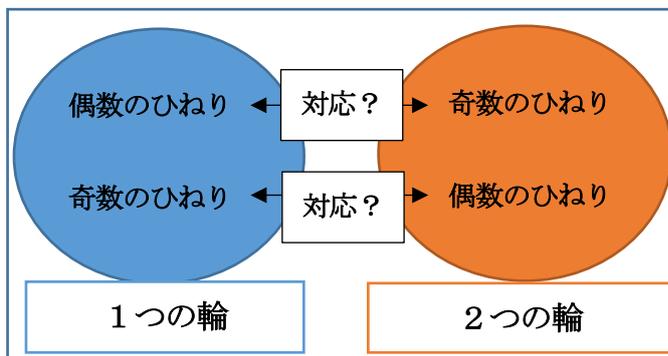
アニュラスから n ひねりを加えたものを考える。偶数ひねりの輪を切ると2つの輪ができて、両方が n ひねりの輪となる。奇数ひねりの輪を切ると1つの $4n$ ひねりの輪になる(試行1, 2の結果より)。

2つのアニュラスを組み合わせたものを切ることができる輪について考える。同じ偶数個の輪を組み合わせたものを切ると、 $4n$ ひねりの輪が一つできる。奇数個の輪を組み合わせたものを切ると、 $2n+2$ ひねりの輪が1つ、 $2n-2$ ひねりの輪が1つできる(試行3, 4の結果より)。このとき、切ってきた輪のひねりの数の平均がもとの輪のひねりの数の2倍に等しいことが分かった。

ただ、なぜ2つの輪でひねりの数が異なるのかについては、判明していないため、今後調べていきたい。

また、試行1, 2と試行3, 4との結果と考察から、1つの奇数ひねりの輪を切ったときと偶数個のアニュラスを連結させたものを切ったときにできる輪の数が1つで、1つの偶数ひねりの輪を切ったときと奇数個のアニュラスを連結させたものを切ったときにできる輪の数が2つになる。このように、ひねりの数を増やした輪を切ったときと0ひねりの輪であるアニュラスを連結したものを切ったときとで、奇数と偶数に関して、切ることができる輪の数の結果が逆になっている(図1)。このような結果になる原因が解明できていないため、こちらについても今後調べていきたい。

図1



5. 結論

加速度から動きを判定する装置の開発

北川 創大、久行 輝、斎藤 景

アブストラクト

今年は新型コロナウイルスの影響でライブの開催が難しくなってしまったため、少人数でも盛り上がるよう、動きに合わせて音を鳴らす機能を持つペンライトの開発を考えた。この装置はProcessingで画像化した加速度のグラフをTensorflowで機械学習し、実際にペンライトの動きを判定して、動きに対応する音を鳴らすことができる。結果は、機械学習の回数により、判定の精度が変わってくるのが分かった。今後は培ったノウハウを活用し、ライブ以外にも日常生活に活用したい。

1. 研究目的

現在、新型コロナウイルスの影響で、歌手のライブがキャンセルされ、オンライン上で無観客でのコンサートに変更されるなど、観客同士が大勢で同じ空間で盛り上がるのが困難になった。しかし、加速度からペンライトの動きを特定し、動きに合わせて音を鳴らすことによって、離れたところにおいても、大勢でもりあがるようにするため、加速度から動きを特定し、音を出す装置を開発しようと考えた。

2. 研究内容

<準備物>

- ・ 三軸加速度センサー
- ・ Arduino
- ・ パソコン
- ・ Python
- ・ Processing

研究 I 「装置の開発」

(1) 加速度センサーからの値取得

数種類のペンライトの動きに対して三軸加速度センサーから加速度の値をとり、Arduinoを経由してPCに送る。

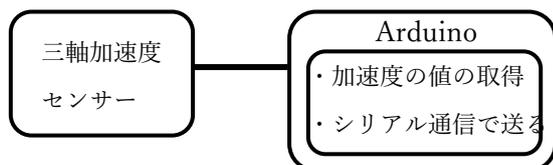


図1 本体の構造

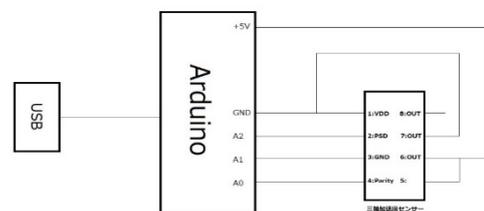


図2 本体の回路図

(2) Processingによる画像化

Processing言語で作成したプログラムを使って加速度をグラフ化し、機械学習の訓練データとする。

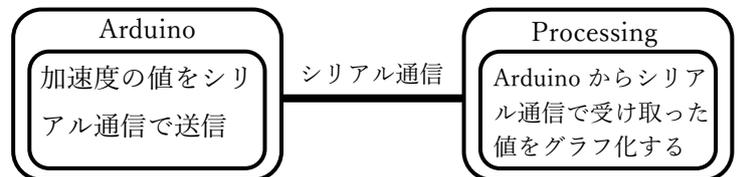


図3 シリアル通信

(3) 機械学習

Python言語で作成したプログラムで画像化したファイルを機械学習する。



図4 機械学習のプログラム

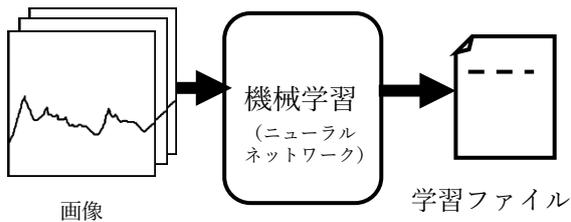


図5 機械学習の手順

(4) 判定結果に応じた音の出力

機械学習による結果から得られたAIをもとに動きを判別し、その結果に応じて異なった音を出す。

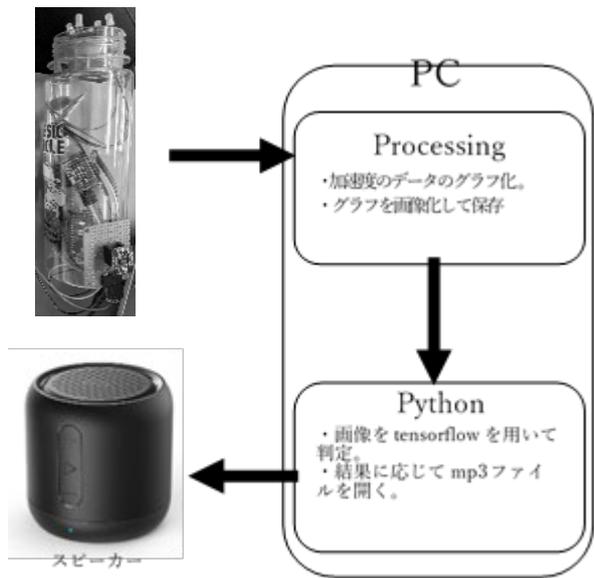


図6 システムの全体

研究II「AIの精度向上」

(1) 学習回数と判定精度の関係

一般に学習回数（機械学習の epoch 数）を増やすと精度が上がる。学習回数と実際の判定精度を調べるため、作成したAIを用いて50回動作を試行したときに正しく判定した回数で精度を測定する。

```

Epoch: 1/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 2/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 3/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 4/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 5/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 6/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 7/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 8/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 9/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 10/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 11/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 12/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 13/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 14/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 15/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 16/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 17/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 18/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 19/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 20/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 21/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 22/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 23/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 24/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 25/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 26/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 27/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 28/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 29/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 30/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 31/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 32/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 33/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 34/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 35/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 36/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 37/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 38/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 39/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 40/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 41/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 42/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 43/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 44/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 45/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 46/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 47/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 48/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 49/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
Epoch: 50/50 [.....] 6s 17ms/step - loss: 0.0000e+00 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0000e+00 - val_accuracy: 1.0000
  
```

図7 学習時のスクリーンショット

(2) 「Wave Shading」の活用

「Wave Shading」とは、本校先輩方がAIの研究過程で開発した機械学習の訓練データを効率よく水増しするための手法である。値をグラフ化する際、線ではなく画素の濃淡で表現することにより、例えばグラフのコントラストを大きくすれば、「強く棒を振ったとき」となり、コントラストを小さくすれば「弱く棒を振ったとき」のデータをシミュレートすることができる。一般に、AIの精度は訓練データの質と量に依存するため、このデータの水増しはAI開発の大きな課題である。

この「Wave Shading」の採用により、被験者がペンライトを振ったときの600枚のグラフを元にコントラストを3回変化させ、合計で1800枚の訓練データを機械学習させた。

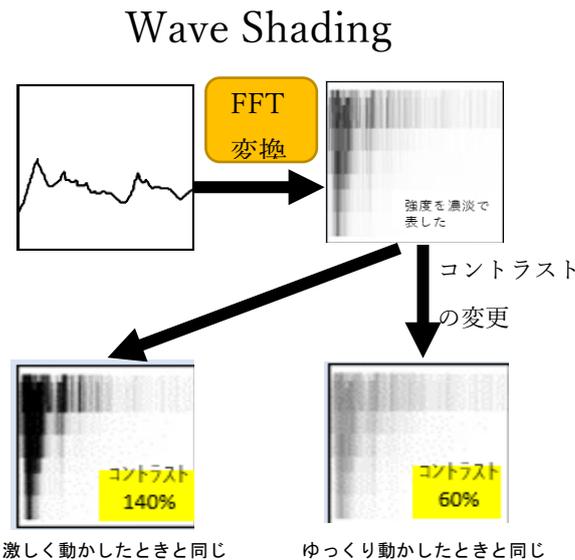


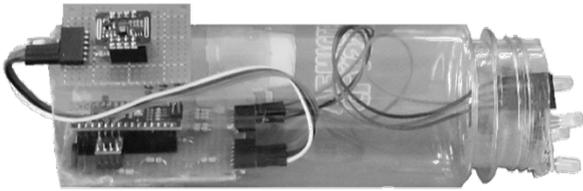
図8 「Wave Shading」の応用

3. 結果

研究I「装置の開発」の結果

- 以下を実現する装置を開発することができた。
- ・加速度センサーとArduino、PCを接続し、シリアル通信で三軸の加速度値を表示することができた。
- ・取得した加速度の値からProcessing言語を使ってグラフを自動生成することができた。

- ・機械学習により加速度の動きから動作を判定する AI を開発することができた。
- ・AI の判定結果によって特定の音を出すしくみをつくることができた。



加速度センサーと Arduino、Bluetooth モジュール、LED、スピーカーが内蔵されたスティック。加速度センサーの値を PC に送り、AI が判定してその結果をスティックに返し、特定の音や LED の光に変換する。

図 9 研究 I 「装置の開発」の結果

研究 II 「AI の精度向上」

(1) 学習回数の増加による結果への影響

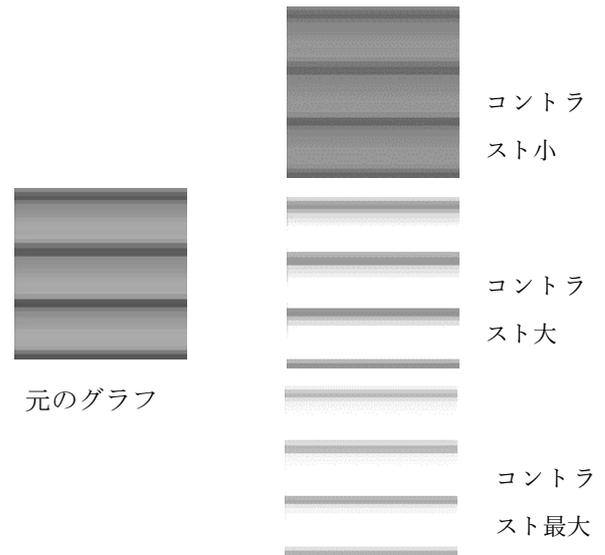
学習回数を増やすことにより下図にもある通り精度が上がった。

学習回数	被験者 A	被験者 B	被験者 C
100 回	36%	42%	28%
300 回	84%	70%	64%
500 回	86%	70%	76%

図 10 学習回数と学習精度の関係

(2) 「Wave Shading」の活用

「Wave Shading」の活用により、人による判定の精度が大幅に向上した。



	被験者 A	被験者 B	被験者 C
使用前	65%	35%	20%
使用后	80%	75%	80%

図 11 Wave Shading による訓練データの水増しと AI 精度の向上

4. 考察

研究 I 「装置の開発」においては、図 9 から分かる通り、目標とした最低限の機能を実現することができたと考えられる。

研究 II 「AI の精度向上」においては、図 10, 11 から分かる通り、学習回数を増やし、学習方法を工夫することによって、被験者による動作の誤差と AI の判定ミスを大幅に減らすことができたと考えられ、本装置における「Wave Shading」手法の有効性を確認することができた。



図 12 実験をする様子

5. 今後の展望

(1) 接続について

今回、ペンライトに残った課題は、パソコンと接続していなければ、判定ができない点である。また、新型コロナウイルスの猛威が去った後、新型コロナウイルス以前のようにライブを開けるようになった時のことを考えるとライブ場にパソコンを持っていくわけにはいかないの、無線でペンライトとパソコンを接続して、パソコンから離れた場所でも使用できるようにしたい。また、だれでも気軽に楽しめるようにスマホにも搭載してペンライト使えるようにしていきたい。

(2) 判定について

現在、判定できるのは、「縦にペンライトを振る、円状にペンライトを振る、ロマンス警報、動きなし」の4種類である。しかし、実際にライブ行うときにはそれら以外にも高度な動きがたくさんある。そのため、動きの種類をふやしたい。さらに、より多くのデータを取って、よりデータの正確さを高めていきたい。

6. 謝辞

今回の我々の研究で相談に乗っていただいたり、プログラミングの指導を行ってくださったりして、最後まで暖かく見守ってくださった徳山高校科学部物理班の顧問の末谷健志先生、同部活の先輩方に感謝申し上げます。この研究は、山口県立徳山高等学校の行内科研費から助成をいただいています。

7. 参考文献

- ・「みんなのPython」著者:柴田 淳/発行者:小川 淳
- ・「実践 Arduino!」著者:平原 真
- ・「Processing クリエイティブコーディング入門」著者:田所 淳/発行者:片岡 巖

感情を可視化するペンライトの開発

平良隼涼、新村翼

アブストラクト

コロナ禍でライブの入場者数が制限されても少人数でライブを楽しむために、感情を可視化し、場を盛り上げるペンライトを作成しようと考えた。心拍数と感情の昂り方は密接に関連しているという既出の論文を参考に、心拍数の値の変化によって光の色を変化させる LED ライトを作成し、市販のプラスチック容器でパッケージングした。これにより、人の感情の昂り方を周りの人に伝えることができた。しかし現段階では、PC と併用しなければならないため、実際のライブ会場での運用が難しいなどの課題がある。

1. 研究目的

(1) 動機

コロナ禍でライブの入場者数が制限されても少人数でライブを楽しむために、感情を可視化し、場を盛り上げるペンライトを開発しようと考えた。

2. 研究方法

<実験器具>

- ・ 3色 LED× 4個
- ・ 心拍センサモジュール MAX30102× 1個
- ・ Arduino NANO× 1個
- ・ ユニバーサル基板× 3枚
- ・ プラスチック製筒(直径 6.5cm、長さ 19cm)

研究 I 「心拍数の値の変化に応じて色を変えるペンライトの制作」

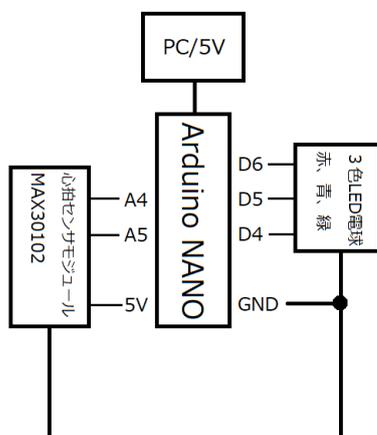


図 1. 作成したペンライトの回路図

(1) 心拍センサの作成

今回は心拍センサモジュール MAX30102 を使用した。対応するスケッチをライブラリから引用する。心拍センサモジュールを Arduino NANO と接続して動作させ、センサに指が触れたときに一分間あたりの心拍数 (BPM) の値のみがシリアルモニタに表示されるように、スケッチを改変する。

(2) 3色 LED ライトの点灯

3色 LED を Arduino NANO に接続する。心拍数の値によって色を変えたいので、あらかじめ心拍数の段階値を定義しておく (3段階で定義し、値は 60, 75, 90)。心拍センサが BPM の値を出力するので、段階値を基準値としたとき、どの基準値以下の範囲の値を出力したかによって点灯する色の値を変化させる。

```
if (irValue > 50000){  
  
  if (beatsPerMinute < extremelow){  
    digitalWrite(4,HIGH);  
    digitalWrite(5,LOW);  
    digitalWrite(6,LOW);  
  }  
  
  if (beatsPerMinute >= extremelow){  
    if (beatsPerMinute < low){  
      digitalWrite(4,HIGH);  
      digitalWrite(5,HIGH);  
      digitalWrite(6,LOW);  
    }  
  
    if (beatsPerMinute >=low){  
      if (beatsPerMinute < normal){  
        digitalWrite(4,LOW);  
        digitalWrite(5,HIGH);  
        digitalWrite(6,HIGH);  
      }  
    }  
  }  
  if (beatsPerMinute >= normal){  
    {  
      if (beatsPerMinute < high){  
        digitalWrite(4,LOW);  
        digitalWrite(5,HIGH);  
        digitalWrite(6,LOW);  
      }  
    }  
  }  
  if (beatsPerMinute >= high){  
    if (beatsPerMinute < extremehigh){  
      digitalWrite(4,LOW);  
      digitalWrite(5,HIGH);  
      digitalWrite(6,HIGH);  
    }  
  }  
}
```

図 2. 作成したスケッチ

3色 LED ライトの光の色の値を心拍数の段階地で場合分けしてスケッチに書き込む。既出の論文を参考に、心拍数が高いときは見た人に対して興奮作用のある彩度の高い色（赤色や黄色など）で光らせ、心拍数が低いときは、見た人に対して鎮静作用がある彩度の低い色（青色など）で光らせる。

（3）パッケージング

制作した装置をすべて基板にはんだ付けする。Arduino NANO と心拍センサモジュール、3色 LED ライトはそれぞれ別の基板に取り付ける。USB ケーブルで PC と Arduino を接続し、回路が成り立つようにすべての基盤をジャンパワイヤで接続する。今回は、市販のプラスチック製のボトルを使用した。底の部分を電気ノコギリで切り取り、Arduino を取り付けている基板をボトルの内側にグルーガンで取り付ける。心拍センサモジュールを取り付けた基板は、実際にペンライトを手にとって使用したときに、親指が当たる位置に来るように、ボトルの外側に取り付ける。3色 LED ライトは、ボトルの蓋側に基盤ごとに取り付ける。これにより、心拍センサに触れながら LED ライトを光らせ続けることができる。

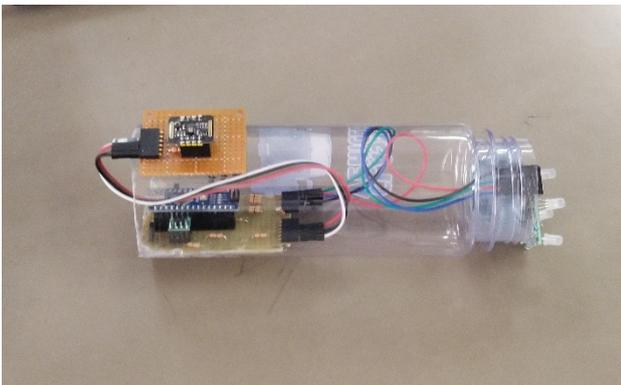


図3 ペンライト本体の写真

研究Ⅱ「作成したペンライトの検証実験」

（1）安静状態での検証

二人の被験者に、気持ちを落ち着かせた状態で、ペンライトを持ってもらい、親指を心拍センサに当てさせる。このときの心拍数をシリアルモニタで確認、記録し、3色 LED ライトの色を観察、記録する。こ

こで心拍数の低い状態の結果を確認することができる。

（2）興奮状態での検証

心拍数が安定する3分後、運動を開始して心拍数を高め、直後に①と同様に心拍センサに触れてもらい、心拍数と3色 LED ライトの色を一分ごとに記録していく。その後も心拍センサに触れ続け、息が整った頃に心拍数と3色 LED ライトの色の変化を確認する。これにより、心拍数の変化によって連続的にペンライトの色が変わることを確かめることができる。

3. 結果

研究Ⅰ「心拍数の値の変化に応じて色を変えるペンライトの制作」の結果

（1）心拍センサの動作結果

パッケージング後、本体を使用した。心拍センサに指をあてたときに、BPM の値がスケッチどおりにシリアルモニタに表示された。

（2）3色 LED ライトの動作結果

心拍センサに指が触れていないときは3色 LED ライトが青色に光った。心拍センサに指が触れると、緑色や赤色にも光ることがあった。

研究Ⅱ「作成したペンライトの検証実験」の結果

（1）心拍数の測定結果

安静時と運動直後との間で、心拍数が大幅に増加した。被験者2人は共に、運動開始から心拍数が増加していき、運動終了直後である測定開始から4分後に最大となり、最大の BPM の値は、2人の平均値が89であった。運動を終えて1分ごとに記録していった BPM の値は、時間が経つ程減少していった。9分、10分時点では、被験者2人の BPM の値は、実験開始時の値である60台に近い値で安定した。

（2）心拍数と3色 LED ライトの光の色との相関関係

実験開始時は3色LEDライトが安静状態を示す青色で光ったが、運動開始時から心拍数が急激に増加し始め、それに伴って3色LEDライトの色も興奮状態を示す赤色に変化した。スケッチでは、心拍センサモジュールが出力するBPMの値が段階値90を超えると3色LEDライトの色が赤色の光を出力するように定義しているため、この結果は正しいと言える。運動

終了時からは、BPMの減少が進むと同時に、3色LEDライトの色は心拍数が段階値75以上であることを示す緑色になり、さらに実験終了にかけて、特に7分後から8分後にかけてBPMの値は減少していき、3色LEDライトの色は実験開始当初と同じ青色に変化した。その後実験終了後まで、被験者2人共に3色LEDライトの光は青色であった。

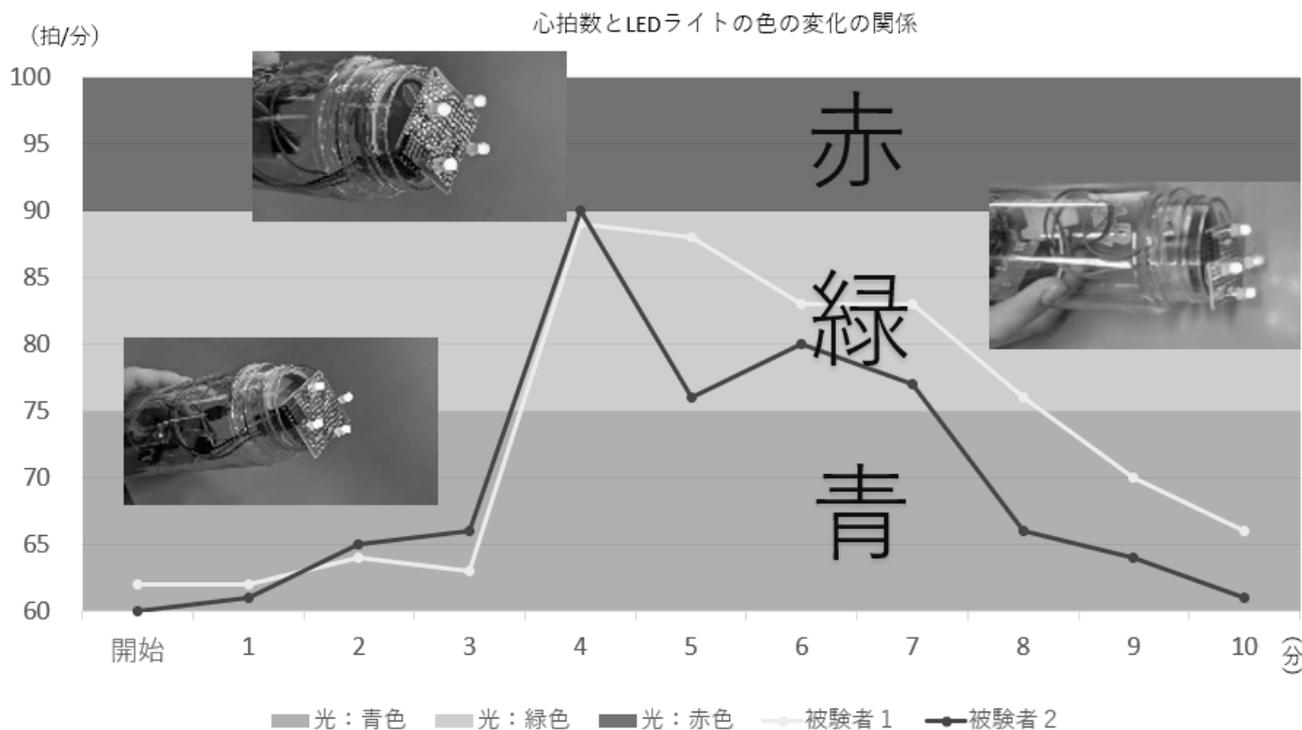


図4 心拍数とLEDライトの色の関係のグラフ

4. 考察

図4より、心拍センサと3色LED電球を組み合わせ、Arduinoで制御することによって、人の心臓の拍動の仕方を読み取り、その値の変化に対応させて3色LEDライトの光る色を変えることができることがわかった。また、感情の変化（興奮、鎮静）と心拍数の変化には相関があるため、今回の実験では、感情の昂り方を3色LEDライトの光の色に可視化し、周りに人がいる状況で自分の興奮度を周囲に伝えることができたと言える。また、色の彩度とその色を見た人

の感情にもまた、相関関係があることから、今回の研究で、使用した人の感情を周りに伝え、周囲の人の感情にも影響を与えるシステムを作り、それを搭載したペンライトを作ること成功したと言える。また、今回の研究は、高校生である私達が、プログラミングに触れるきっかけとなり、知識や関心を深め、今後の電子工作やプログラミング研究への足がかりとなった。

5. 今後の展望

(1) ペンライト本体に残された課題

今回の研究で、心拍センサをArduinoで制御し、

センサの出力した値によって3色 LED ライトの色を制御することができた。しかし、現在このペンライトを使うには、PC と USB ケーブルで接続することが必要不可欠であるため、当初の目的である「少人数でのライブを盛り上げる」ということに関しては、実現は難しく、現在オンラインで開催されているアーティストのライブなど、会場でなく自宅でライブを閲覧することができ、PC とペンライトを問題なく接続することができる環境などでの運用が最適と言える。

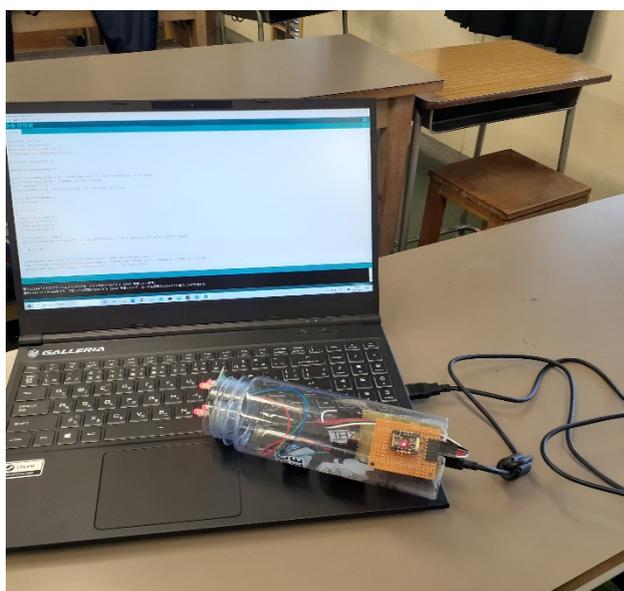


図5 ペンライトの動作に必要な物品

これらをライブ会場で実際に使用するのは難しい。そこで、今後このペンライトに加える改良としては、第一に Bluetooth モジュールを用いた無線化、その後は別の方法を用いたペンライト単体での運用を可能にし、ライブの会場でこの装置を使いたい。

(2) 感情を示す方法について

今回は既出の論文を参考に、心拍という分野で、BPM の値を用いて感情を可視化する研究を行った。しかし実験でも心拍数を変化させるために運動を行ったように、心拍数の変化には感情の変化以外の様々な要素が含まれる。よって改良策としては、ただ心拍数の値によって3色 LED ライトの色を定義するのではなく、心拍数の変化量を用いて光らせる色を変化

させたり、また別の指標となる値(例として、心拍間隔指標)を用いて Arduino スケッチを作成したりすることがある。感情を可視化し、ライブを盛り上げるために、様々な方法を模索していきたい。

6. 謝辞

結果のでない研究を最後まで暖かく見守り、プログラミングの指導や研究の方向性について相談に乗っていただいた本校科学部顧問の末谷先生及び、同部員の先輩方に感謝いたします。また本研究は、徳山高等学校校内科研費より助成をいただいております。

7. 参考文献

- ・「色彩と感情について」稲浪正充 栗山智子 安部美恵子著、島根大学、1994年
- ・「心拍による情動スペクトルの推定」早野順一郎著、名古屋市立大学

青銅を科学する

平川裕大、金谷真采、松本響輝

アブストラクト

今回の研究の動機は、弥生時代ごろに用いられた銅鐸が「青銅」製で、かつ金色に輝いていたことを知ったからである。「青銅」の原料である銅とスズを混合し、電気炉を用いて青銅を製作し、測色色差計などを用い、原料の合成比との関係について調べた。「青銅」の色の変化はとても緩やかで、金色の「青銅」はSn:Cuのモル比で約4:36から2:38で合成するのがよいことが分かった。合成比をより細かいものにし、さらに数値の精度を上げて研究し、最終的には色彩変化の原因を究明し、金色の銅剣も制作したい。

1. 研究目的

(1) 動機

今回の実験は、歴史好きな先生から銅鐸について話題を持ち掛けられたことがきっかけである。その内容は、“弥生時代の集落のムラで用いられていた銅鐸は「青銅」で作られていた。そして、「青銅」は一般的に、新品の十円硬貨にみられる赤色の金属光沢と思っている人が多いが、実は、原料である銅とスズの合成比を変えることによって、赤色はもちろん、銀色にも金色にもなる。実際に銅鐸は合成比が調節され、金色に輝いていた。”である。

そこで、実際に自分たちで金色に輝く青銅を見たい、製作してみたい、その原理を究明したいと思った。そのため、今回の研究を行った。

(2) 仮説と研究内容

十円硬貨をはじめとする「青銅」に赤色のイメージが強くあるため、赤色の「青銅」は非常に容易に制作できると考える。すなわち、実際に銀色や金色になる合成比の幅はかなり狭いと考える。

したがって、今回の研究では「青銅」の原料である銅とスズの合成比によって、合成された「青銅」にどのような性質の変化が起きるのかを調べた。

また、今回は色の変化について調べるために、粉末状の銅とスズを「青銅」と同じモル比で混合した試料（以下、試料B）を製作し、比較した。

試料Bと比較して、「青銅」（以下、試料A）との違いがなければ、青銅の色の変化は金属結合に関係ないことが分かり、違いがあれば青銅の色の変化が、金属結合に関係する特別な色の変化であること

が分かる。

また、色については感覚的、主観的要素が強く、客観的なデータを得るため、企業連携している東ソ一株式会社より、測色色差計 ZE6000（日本電色工業製）をお借りして、色彩を測定し、数値化した。

(3) 色彩について

今回の実験に必要な色彩についての専門用語、および専門的な知識について簡単に以下にまとめる。

すべての色は3つの要素の組み合わせで値として表現され、それぞれは次のことを表す

①色相

赤、青、黄というように、それぞれ区別される「色あい」。

②明度

色相に関係なく比較できる「明るさ」。

③彩度

「鮮やかさ」の度合いを示す性質。

これらで色彩を表す方法をL*C*h*表色系といい、一般的に学校で教わるのはこの方法である。

L*C*h*表色系と同様に、すべての色はL*a*b*表色系という方法でも表され、次の要素から表される。

①明度 (L*)

L*C*h*表色系と同じく、その色の単純な「明るさ」を表す。

②色度 (a*, b*)

色の「方向」を表す。a*が強ければより赤く、弱ければより緑色に。b*が強ければより黄色く、弱ければより青くなる。具体的なa*、b*の値の変化による色の分布を以下の図1に示し

た。

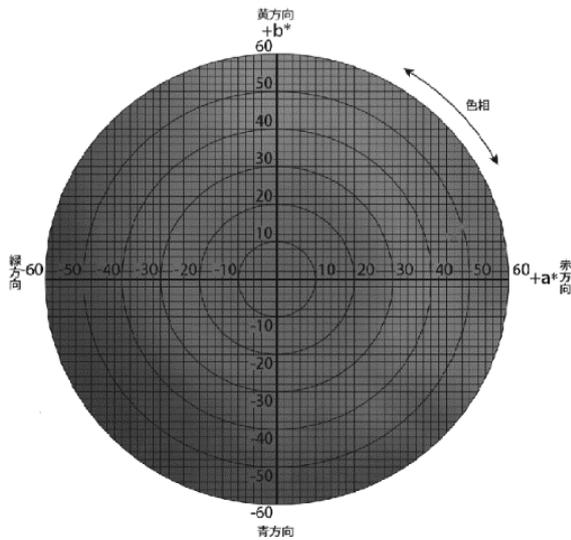


図 1

(コニカミノルタ「色を読む話」より)

L*a*b*表色系は、あらゆる分野において色を表す際に用いられる最もポピュラーな色の表し方で、1976年に国際照明委員会（CIE）で規格化されたのち、JIS（JISZ8729）でも採用されている。

今回は、実際に工業の世界において多く用いられているL*a*b*表色系で測定した。製作したい青銅合金は金色であるので、この方法を用いる際、b*の値がより大きく、a*の値がより小さい合成比率が理想の合金の合成比率に最も近いと考える。

2. 実験方法

今回の実験は、以下の手順にて行った。

(1) 試料の準備

試料A

- ①粒状の銅とスズを、表1の合成比になるように電子天秤を用いて測り取った。

表 1 銅とスズの合成比

試料番号	物質量の比		質量 (g)		Sn のモル分率
	Sn	Cu	Sn	Cu	
1	40	0	23.740	0.000	1.000
2	18	22	10.683	6.991	0.450
3	10	30	5.935	9.530	0.250
4	9	31	5.342	9.850	0.225
5	8	32	4.479	10.175	0.200
6	7	33	4.134	10.485	0.175
7	6	34	3.561	10.800	0.150
8	5	35	2.969	11.121	0.125
9	4	36	2.374	11.439	0.100
10	3	37	1.781	11.758	0.075
11	2	38	1.187	12.083	0.050
12	1	39	0.594	12.392	0.025
13	0	40	0.000	12.710	0.000

- ② 必要に応じて、銅とスズの入れる順番を変えたうえで、るつぼの中に①で測り取った銅とスズを入れた。ここで、活性炭素を混合し、金属の酸化を防止できるようにした（図2参照）。また、銅とスズに粒状のものを用いることによって、表面積を小さくし、より酸化しにくくした。

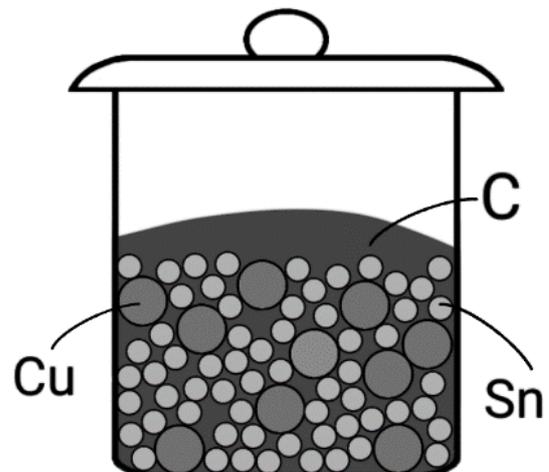


図 2

試料B

- ① 粉末状の銅とスズを、比較する「青銅」と同じ物質質量だけ電子天秤を用いて測り取った。
- ② ①で測り取った粉末を、試験管内に入れて均一になるように試験管を振った後、ホールスライドガラスのくぼみ部分いっぱいに盛り付けた。
- ③ ②のスライドガラスの上に平らなスライドガラスを置き、ティッシュペーパーなどを用い、ガラス表面に直接触れないようにして、挟まれた混合粉末を圧縮した。
- ④ ③で圧縮したものを、そのままスライドガラスの両端をセロハンテープ及び、輪ゴムで固定した。

(2) 青銅 (試料A) の合成

- ① 試料を入れたるつぼを電気炉の中に入れた。なお、今回は加熱器具 (電気炉) として、ニットー小型電気炉 SH-OMT・NHK-120H-II を使用した。
- ② 加熱時間、設定温度を合成比によって最適に調整して加熱した。設定温度は、銅の比率が大きくなるほど、高温になるようにした。
- ③ 加熱後るつぼを取り出し、融解した内容物を、くぼみを設けたレンガの上に流す。銅がすべて溶けたものについて「青銅」ができたとした。

(3) 試料の性質の測定

- ① 試料Aは G-240 メッシュ紙やすり表面を磨いた。試料Bは 74 μm (200 メッシュ) のスズと 135 μm (325 メッシュ) の銅を使用して、スライドガラスに封入した。
- ② 試料A、Bのどちらも、測色色差計を用いて L*・a*・b*を、測定位置を変えながら 3 回測定し、平均値をとった。

3. 結果

(1) 試料A (青銅)

試料Aは、表 2 の測定結果 (平均値) になった。グラフ化したものが図 3 である。なお、実験で使用した本加熱器具では試料

11 まで「青銅」が製作できたが、試料 12 は製作できなかった。

表 2 「青銅」の測定結果

試料番号	測定値		
	L*	a*	b*
1	66.39	0.89	5.59
2	60.14	2.04	2.57
3	58.39	1.30	0.67
4	60.25	2.64	4.15
5	57.44	4.15	5.30
6	62.98	-0.17	9.52
7	59.78	5.09	13.28
8	64.13	8.02	10.70
9	58.95	5.40	12.68
10	59.31	7.85	14.21
11	58.81	5.36	15.05
12			
13	64.60	11.98	19.19

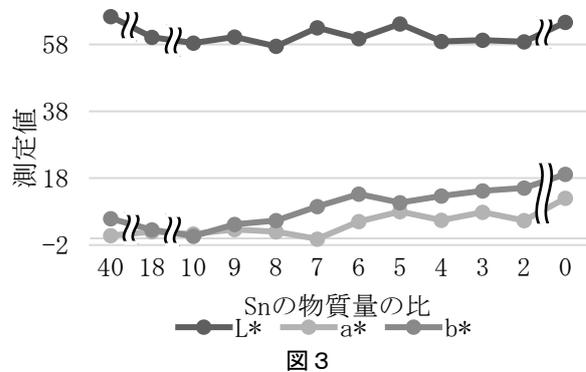


図 3

(2) 試料B

試料Bは、表 3 の測定結果 (平均値) となった。グラフ化したものが図 4 である。

表3 混合物の測定結果

試料番号	色彩測定		
	L*	a*	b*
1	57.12	-1.55	6.44
2	52.12	18.16	25.01
3	48.34	20.70	22.63
4	48.91	16.89	24.21
5	48.61	20.06	22.83
6	50.22	19.99	25.35
7	49.61	19.55	24.85
8	50.22	19.01	22.80
9	49.46	18.64	24.62
10	46.33	19.04	23.44
11	46.06	21.96	25.53
12	48.78	20.46	25.81
13	43.72	20.18	23.14

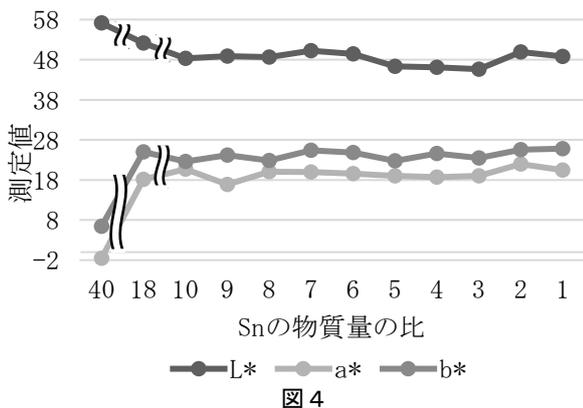


図4

4. 考察

(1) 試料A

スズの物質量の比を Sn 比と呼ぶことにする。

まず、目視では、試料1～5 (Sn比40～8) は銀白色であった。試料6 (Sn比7) ではだんだんと黄色みがかってきた。試料9～11 (Sn比4～2) は、かなり金色に見えた。試料13 (Sn比0) だと純粋に銅のみなので、もちろん赤色である。

これを測定結果と照合すると、金色に見えたとき、b*は約13の値をとって試料9から11に向かい緩やかに増加し、a*は約6.5の値であり変化していない。

よって、金色の青銅を作る合成比は、スズ:銅の物質質量比で、4:36から2:38である。

また、仮説では、銀色になる合成比率は狭いとしたが、実際は非常に広がった。逆に、普段私たちが目にする赤銅色の「青銅」になる幅こそ、かなり狭いと分かり、非常に驚いている。

(2) 試料B

粉末状態ではほとんど金属光沢の見られなかったSnの色が、金属光沢のあるCuの色に圧倒的に負けてしまう結果になった。

また、明度はSnの割合が低くなるにつれて、小さくなったので、CuはSnよりも明度が小さい(暗い)ことが分かった。

(3) 試料Aと試料Bを比較して

試料Aと試料Bでは、色の変化の具合が全く異なり、青銅合金における色彩の変化が、単純な混合によるものではないと分かった。

今後は、さらに合成比を細かいものにしてより正確な数値での研究、顕微鏡による表面の観察、顔料の色の変化などとの比較等検討したい。そして、刃は銀色で柄は金色の銅剣を、製作もしてみたいと考えている。

5. 謝辞および参考文献

今回の研究の指導・監督を行ってくださった米本和生先生、測色色差計を貸してくださった東ソー株式会社様および担当の吉山様・永山様に厚くお礼を申し上げます。

また、参考にさせていただいたコニカミノルタ株式会社「色を読む話」のPDFファイルのURLを以下に添付します。

https://www.konicaminolta.jp/instruments/download/manabi/color_communication_2.pdf

調味料によるサビの除去

釜中真沙子、藤本歩果

アブストラクト

多くの小学生が10円玉のサビ落としの自由研究をした。調味料の中ではケチャップやソースが最もサビが落ちるとされているが、本当にそうだろうか。そこで私たちは薬品を用いて、人工的にサビを発生させ、それらに調味料をかけ観察を行った。その結果、レモン汁が最も効果を発揮することを見つけた。2番目はマヨネーズだった。結論として、酸性の物質の方がサビを落としやすいことが分かった。これからは別の種類のサビで、より化学的な研究を進めたい。

1. 研究目的

私たちの身の周りには無数のサビが存在している。サビは付着すると見栄えが悪くなるため、車のサビ防止には危険な薬品を使用する電着法が使われている。市販の薬品にも電着法ほどではないが、人体に影響を及ぼす物質が含まれている。そのため、家庭では安全に使うことはできない。そこで、小学生の自由研究からヒントを得て、調味料をサビ防止に利用するのが良いと考えた。

仮説として、鉄サビならば酸性の物質の方がサビを落としやすいと考えた。10円玉の実験でも酸性物質の方が比較的サビが落ちていたからだ。

そして、最終目標は、家庭で使える安心安全なサビ取り剤を作ることである。具体的には、サビが落とせる調味料を見つけることである。

2. 研究方法

鉄、銅、亜鉛、アルミニウムの金属片とどの家庭にもあると思われる調味料を使用し、適切なサビの防止法と除去方法を探求する。金属のサビは人工的に作る。

(1) サビの作り方

- ① 各金属片が短時間で錆びる水溶液を調整する。

〈鉄を錆びさせるために使用した水溶液〉

- ・ 0.80 mol/L HCl 100mL
- ・ 0.30 mol/L H₂O₂ 100mL

(最初に0.80 mol/L HCl、次に0.30 mol/L H₂O₂に鉄を浸す。)

〈銅を錆びさせるために使用した水溶液〉

- ・ 2.0 mol/L NH₄Cl 100mL

〈アルミニウムを錆びさせるために使用した水溶液〉

- ・ 1.5 mol/L CaCl₂ 100mL

- ② 金属片全体を水溶液に浸し反応させる。
- ③ 10分後、金属片を取り出す。
- ④ サビが少量の場合、水溶液の濃度や核金属片を水溶液に浸す時間を変える。

(2) サビの防止法の見つけ方

- ① 金属片を金属片の2分の1程度覆う量の調味料に10分程度浸す。
- ② (1)の操作を行う。錆びさせる適切な水溶液やその濃度、浸す時間は(1)で特定している。
- ③ 各調味料について同様の実験を行う。

(3) サビの除去方法の見つけ方

- ① (1)の操作を行う。
- ② 錆びた金属片に(2)①の操作を行う。
- ③ ②でできた金属片をシャーレに入れ、上からサランラップを被せる。その後、1週間放置する。
- ④ 放置した金属片から調味料を取り除き、

サビが落ちているかどうか確かめる。
 (サビが完全に落ちる調味料を特定する
 まで、①から④を繰り返し行う。)

3. 結果

表1はサビを未然に防ぐために使用した物質とその結果。表2はサビを取り除くために使用した物質とその結果である。

表1より、醤油・ポン酢・味噌が、表2より、マヨネーズ・レモン汁・ケチャップ・ポン酢・野菜ジュース・グルコースが効果的であると分かった。

表1 サビの防止方法

マヨネーズ	×
レモン汁	×
ケチャップ	×
醤油	○
ポン酢	○
味噌	○
野菜ジュース	×
にがり (MgCl ₂)	×
重曹 (NaHCO ₃)	×
グルコース (C ₆ H ₁₂ O ₆)	×
食塩水 (NaCl)	×

表2、サビの除去方法

マヨネーズ	○
レモン汁	○
ケチャップ	○
醤油	×
ポン酢	○
味噌	×
野菜ジュース	○
にがり (MgCl ₂)	×
重曹 (NaHCO ₃)	×
グルコース (C ₆ H ₁₂ O ₆)	○
食塩水 (NaCl)	×



図1 サビ除去の実験

左から 味噌・マヨネーズ・食塩水・レモン汁



図2 アルミニウムに発生した物質

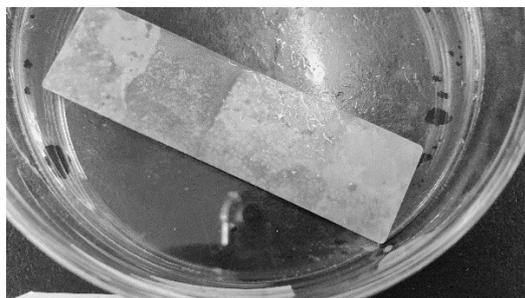


図3 醤油によるサビの防止

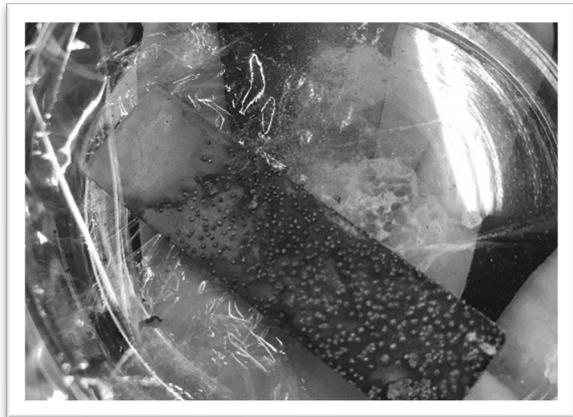


図4 緑青が発生した様子

4. 考察

表1より、サビを未然に防ぐには大豆が入った物質が効果的だと分かった。また、表2よりレモン汁とマヨネーズのような酸性を示すものの方がサビを取り除けることが分かった。

私たちが立てた仮説の『酸性物質がサビの取り除きに効果がある。』はほぼ正しいことが証明された。また、大豆の成分の一つであるレシチンが、サビの防止に何らかの関与をしたと思われる。今後の研究課題のひとつである。レシチンは古くから油脂の酸化防止に使われていた。また酸化防止剤の相乗剤にも使用されている。しかし、この実験における関与は不明である。

改善すべき点は、サビの防止が成功したかどうか、またサビの除去が上手くいったかどうかを、全て目視で行った点である。そのため、実験後のサビの正確な量や、もっとも効果のある物質が、分かりづらかった。また反応ごとに、シャーレの上にサランラップを被せたり外したりしたことにより、実験の正確さに影響をおよぼした可能性もある。

銅に付着する緑青ができる時間は、鉄のサ

ビに比べてかなり長いですが、私たちは銅の緑青を作ることに成功した。サビの除去と防止のための調味料は、未だに見つかっていないのである。

改善すべき点は、銅板にできたサビの量にばらつきが出たことである。その結果の原因は、気温や湿度などの気候条件の違いだと考えられるが、正確な理由はこれからの課題である。

アルミニウムに、塩化カルシウムを用いて白いサビのような物質を、発生させることができた。しかし、その物質が白サビであるという確証が無いため、引き続き実験を行っていきたい。

5. 結論

調味料によるサビの防止法・除去法は実現可能であることが分かった。これらの方法は安心安全であり、私たちの重要な目標である鉄のサビを防止・除去に適した調味料を発見することができた。しかし、完璧に防止・除去できる物質は発見できなかった。よって、サビ防止についてはレシチンを含む物質を含め、可能性のある物質を中心に、今後も実験していきたい。

サビ除去については酸性物質を中心にし、さらにほかの物質等についても、実験していきたい。

今後は銅やアルミニウムにも同様の現象が起こるのかを、鉄と同じように実験していきたい。

その際前述したレシチンの効果は銅やアルミニウムでも適用するのかということも調べたい。

また、測色色差計等の機器の使用も検討し

ている。測色色差計を使い、より正確なサビ防止を数値化し、客観的なデータとして、研究に生かしたいと考えている。サビ除去後の値も同様に数値化して調べたいと考えている。酸性物質については pH 等の関係も厳密に研究していきたい。幸いにも徳山高校は企業連携を行っているので、精密測定機器の借用も可能である。

6. 謝辞

本論文の執筆にあたり、多くの方々にご支援いただきました。主指導教員である米本先生には研究の着想から、調査、論文執筆まで多くのご指導をいただきました。心から感謝申し上げます。

ありがとうございました。

7. 参考文献

『YAHOO 知恵袋!』

『トコフェロールの酸化防止効果向上に関する研究(第7報) 数種の乳化剤との相乗効果』(1983年)

青山 捻・丸山 武紀・兼松 弘・新谷いさ
お・塚本 正人・東海林 茂

光に対しての淡水魚の反応

大田 渉貴、中泉 秀斗、藤井 聖大、通山 紗羅

アブストラクト

海水魚は赤い光に対して警戒心が薄い事が知られているが、淡水魚の場合はどうなのかと気になり、淡水魚の場合の光に対する反応を調べることにした。赤、緑、青の光を目的の個体の上部に照射し、目的の個体の反応を見た。その結果底層の個体は、光に対しての反応がなかった。上層の個体の多くは、赤、青、緑のいずれの光に対する反応も良く見られた。この結果から、淡水魚は上層に住む魚が光に対しよく反応することが分かった。

1. 研究目的

- (1) 海水魚の赤い光に対する反応が小さいと言われていることから、淡水魚の場合も赤い光に対する反応は薄いという仮説を立て、種類ごとの淡水魚の赤い光に対する反応を調べる。
- (2) 淡水魚の赤い光に対する反応の結果から青色光、緑色光の場合での反応についても調べる。

・カワムツ (体長 推定 10 cm 山口県光市島田で捕獲)



・ホンモロコ (体長 推定 10 cm 山口県平生町で捕獲)



2. 研究方法

(1) 準備物

- ・オールガラス水槽(横 92 cm、縦 27 cm、高さ 32 cm 内容量 60L)
- ・60 cm用 LED ライト (照射時 1000lm)
- ・観賞魚用ヒーター (64L 以下)
- ・ポリプロピレン製フィルム (赤、青、緑)

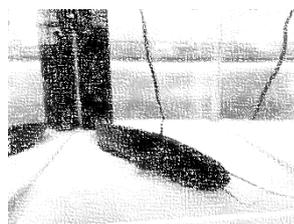
(2) 研究個体

- ・オイカワ (体長 推定 10 cm 山口県光市島田で捕獲)



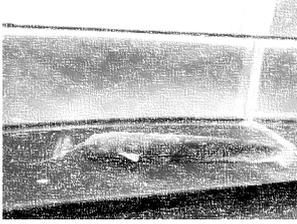
・ニホンナマズ (体長 推定 40 cm 山口県平生町で捕獲)

{この個体をナマズ(大)と呼称する}



- ・ニホンナマズ (体長 推定 15 cm 山口県平生町で捕獲)

{この個体をナマズ (小) と呼称する}



- ・ニホンウナギ (推定 60 cm 山口県平生町で捕獲)



(3) 実験手順

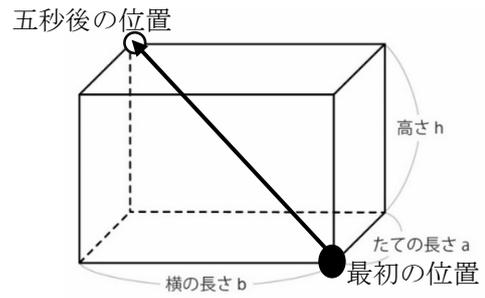
- ① 赤色の光を個体の上部から照射し、その個体の反応を動画で撮影する。
- ② 動画を再生し、赤色光の照射前の魚の口吻の位置を0とし、そこから、光を照射して5秒後の魚の口吻の距離を記録する。
- ③ 同様に青色、緑色の光に対する反応を調べる。

3. 研究結果

光を照射した5秒後の各個体の位置は次のようになった。

なお、次の表では上層は生息している範囲が水面に近い環境下であることを表し、底層は、生息している範囲が河床に近い環境下であることを表す。

また、個体の5秒間の位置の違いについて、水槽の長辺に沿った位置の差をa、短辺に沿った位置の差をb、鉛直方向の位置の差をh (単位各cm) と表記している。



魚の種類		光の色			
		方向	赤	青	緑
上層	オイカワ	縦	0	0	0
		横	43	17	53
		高さ	0	0	0
	カワムツ	縦	0	10	5
		横	21	0	0
		高さ	0	0	0
ホンモロコ	縦	3	8	0	
	横	0	0	2	
	高さ	0	0	0	
底層	ナマズ(大)	縦	0	0	0
		横	0	0	0
		高さ	0	0	0
	ナマズ(小)	縦	0	0	0
		横	0	0	0
		高さ	0	0	0
	ウナギ	縦	0	0	0
		横	11	31	0
		高さ	0	0	20

表 1 (c m)

なお、表中で底層・上層はそれぞれ各魚が河川で棲む位置を表す。実験に使用した魚は近隣の河川から夏から秋にかけて採取し、水槽に十分に慣らしてから実験を行った。

表の数値について、例えば底層に棲むウナギは赤色光に対して5秒後に横方向に11cm移動したことを示す。

これらの実験は12月の午前9時から10時の間に繰り返し行った。また、上方から光を照射するにあたって、水槽の側面はすべて遮蔽し、他の方向からの光の影響を受けないようにした。

4. 考察

上層の魚では、照射する光の種類と魚の動きとの関係について、逸出した特徴は見られず、オイカワは、主に緑色光に対して強く反応して動き、カワムツは、主に赤色光に対して強く反応して動き、ホンモロコは、青色光に対してよく反応して動いた。また、水槽中での移動の向きについて、横方向の動きと、縦方向の動きがみられ、魚の種類や光の種類との関係性も見出しにくい。ただし、いずれも鉛直方向の移動は見られなかった。上層の魚は上方から光を照射した場合にその光に対する負の走性は見られなかったうえ、最初から魚が水面近くにいたため、これ以上の上昇は不可能であった。

一方、底層の魚で今回観察した2種について、ナマズは光照射に対して動きを全く見せず、ウナギのみに光の種類によって横または鉛直方向の移動が見られた。これはナマズの河川での生息域は水草が繁茂するような泥底域であり、ウナギの河川での生息域は河口から上流まで幅広く、一貫して水がきれいなところであることから、上方からの光の照射に対して、ナマズは光に対して反応する必要が無いため光走性が見られないが、ウナギは光に対して反応する必要があるため光走性が見られると考えられる。

なお、今回の実験は午前9時頃を中心に光の照射は水槽上部のライトのみとし、暗室で観察した。ナマズは野生での活動時間が夕方から夜であり、ウナギは夜から早朝であることから、ウナギが活動する時間とは近かったが、ナマズが活動する時間とは大

きな違いがありナマズへの急な光の照射に対し反応を示さなかったと考えられる。

また、今回は動きの目安として光を照射して5秒後の位置の変化を測定した。これは、これより時間が短いと動きが小さすぎて個体差が見られにくいことと、これより長時間になると複雑な動きがその間に含まれ、記述方法が煩雑になり比較しにくくなることによる。しかし、今回の記録方法で差がわかりにくかったことから、今後の実験では記録方法にも改善が必要である。

5. 結論

上層の魚では、赤、青、緑のいずれの上方から照射された光に対しても、反応して動くが、正の走性とまでは言いきれない。

一方、底層の魚で観察した2種では、ナマズは上方からの光照射に対して反応を示さないが、ウナギはいずれの光に対しても反応を示し、光の種類によって横または鉛直方向の移動が見られた。他の種類の底層の魚については、調べていないためわからないが、生息域や活動時間などによって反応が変化すると考えられる。したがって、仮説として挙げた「赤い光に対する反応は小さい」ことは魚の種類や光照射時の条件により異なり、一概に魚の赤い光に対する反応は小さいといえない。

今後の展望としては、まず、秒数や光の照射方向の違いによる比較や移動速度、移動方向など様々な観点から計測することにより、今回よりも詳しく正確な傾向が得られることが期待できる。

また、今回の実験では計測した時間帯が底層の魚の活動時間に合わなかったので、時間を合わせることで、生息環境に近い条件での結果が得られることが考えられる。

そして、実験した魚の種類が少なかったため得られたデータが限られたが、実験する魚の種類を増やすことで魚が生息している層のみならず、全般にわたる傾向から判断できる結果が得られるように努めていきたい。

私たちは、一連の実験を通して淡水魚の性質を把握し、それらの棲む環境の保全を目指している。そ

して、魚を安全な場所に誘導する方法として、それぞれの種に適した光による誘導を実現したいと考えている。

6. 参考文献

東京海洋大学「ウナギの成長にともなう視覚機能の変化」www2.kaiyodai.ac.jp

京大 森里海ラボ by ONLINE2020 みんなでちょっとと幸せになれる持続可能な未来を創るために
ビジュアルブック 出版元：京都大学

東京海洋大学「LED 漁灯の測光と対象種の光感覚に関する研究」<http://id.nii.ac.jp/1342/>

微生物は川の指標になるのか？

有間ひかり、植田理子、高原明日香、原田花凜、横田優希

アブストラクト

川の指標に微生物を用いることはできるのかということをもとに5か所で採集した微生物を分析することによって確認した。川の指標として微生物が用いられることは例が少ないので、それぞれの場所の環境や、微生物の種や個体数を観点別にまとめた。交通量が多い場所の近くでは微生物の個体数が多く、また、硝酸性窒素、COD、の値が大きいところでも同様の結果が得られた。今後は実験回数をふやすとともに、微生物を今回とは異なる分類で比較していきたい。

1. 研究目的

現在水質汚濁指標に用いる淡水プランクトンの研究であれば行われており、アオコを形成する藍藻類や、赤潮を引き起こす緑虫類が原因で水質汚濁が生じることが分かっているため、微生物を指標に川の水質を評価する。



用水路

- ・ 天気:曇り
- ・ 深さ:膝下
- ・ 流れ:おだやか

佐波川

- ・ 天気:曇り
- ・ 深さ:1 m
- ・ 流れ:足がとられるほど早い
- ・ ため池のようになっているところがある
- ・ アシ科の植物が多い

2. 研究方法

富田川 1



富田川 1(菊川中学校近く)

- ・ 天気:晴れ
- ・ 深さ:1 m
- ・ 流れ:おだやか
- ・ 採集した場所は少し淀んでいる

富田川 2



富田川 2(ニチイケアセンター菊川前)

- ・ 天気:晴れ
- ・ 深さ:膝上
- ・ 流れ:おだやか

富田川 3



富田川 3(エディオン周南本店近く)

- ・ 天気:晴れ
- ・ 深さ:非常に浅い
- ・ 流れ:とてもおだやか

(1) 採集方法

12月に2回、富田川1、富田川2、富田川3、佐波川、用水路で水をペットボトルに直接20採集する。

(2) pHおよびCOD、硝酸性窒素の測定

採集した各川の水をpHをpHメーターで、COD、硝酸性窒素をパックテストを用いて測定する。

(3) 微生物の観察

- ①各川の水10を簡易プランクトンネットを用いて3mlに濃縮する。
- ②ピペットで濃縮した3mlを取り、プランクトン計数板に入れ、計測する。

③光学顕微鏡で100倍率で観察し、画像、動画の撮影をする。

④後日、画像、動画をもとに種の特定、個体数の計測を目視で行う。

3. 結果

富田川1、富田川2、富田川3、佐波川、用水路のバックテストの値は下のグラフ1、2、3のようになった。

COD (mg/L)

	1回目	2回目	平均
富田川1	1	0	0.5
富田川2	1	4	2.5
富田川3	3	3	3
佐波川	1	2	1.5
用水路	1	2	1.5

表1

pH

	1回目	2回目	平均
中学校	7.5	7.6	7.5
ニチイ	×	7.6	7.6
エディオン	7.9	7.7	7.8
佐波川	7.8	7.6	7.7
用水路	7.9	7.8	7.8

表2
硝酸性窒素 (mg/L)

	1回目	2回目	平均
富田川1	0.3	0.35	0.33
富田川2	0.2	0.35	0.28
富田川3	0.5	0.3	0.4
佐波川	0.5	0.6	0.55
用水路	1	0.4	0.7

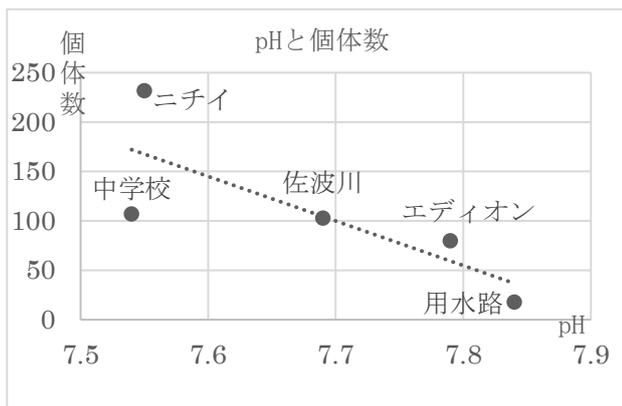
また、搾取された微生物とその数は、以下のグラフ4のよう

微生物の種類と各個体数 (匹)

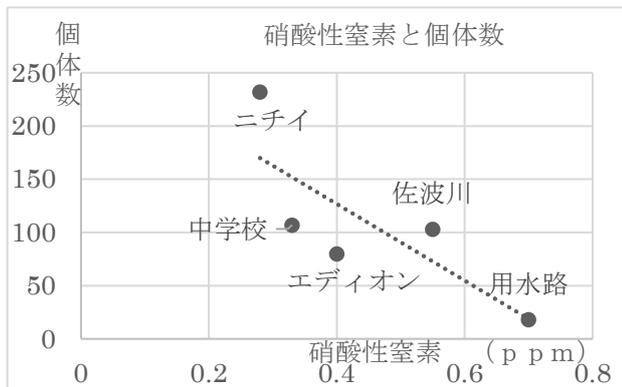
微生物の名前	中学校	ニチイ	エディオン	佐波川	用水路
アオミドロ	1	0	4	0	1
アフアニゾノメン	表3			0	0
アウラコセイラ	2	0	0	0	0
クチビルケイソウ	0	2	1	0	0
クリプトモナス	0	0	0	0	0
クンショウモ	0	1	0	0	0
ケズネモ	2	0	0	0	0
ケンミジンコ	0	1	0	0	0
サヤミドロ	6	10	0	0	0
シカクミジンコ	0	0	0	0	0
ジチルム	0	1	0	0	0
シネドラウルナ	0	3	0	0	0
シャジクモ	0	0	0	0	0
スタウラストルム	2	0	0	0	0
ゾウリムシ	0	0	2	0	1
タルケイソウ	8	43	6	10	1
ヒザオリ	0	0	5	14	1
ヒビミドロ	2	0	0	0	0
プテロスペルマ	2	2	0	0	0
フロントニア	0	7	0	0	0
プレオドリナ	0	0	0	0	1
ホシミドロ	1	0	0	0	0
ミドリゾウリムシ	0	0	0	0	0
ラップムシ	0	0	0	0	0
その他	5	0	6	6	1

4. 考察

表1から、pHが高いほど、微生物の個体数が少ない傾向があることが分かった。表2からは、硝酸性窒素の値が大きい川ほど微生物の個体数が多くなる傾向があることがわかった。また、各川の微生物の総個体数に占める種類別の割合をみると、NO₃、pHが比較的大きいエディオン、用水路ではケイソウの個体数の割合が小さく、逆に、NO₃、pHの値の小さいニチイ、中学校では、ケイソウの個体数の割合が比較的大きい傾向がみられた。さらに、エディオン、用水路は多細胞生物の個体数の割合が大きく、ニチイ、中学校では、割合が小さいという傾向があった。



グラフ1



グラフ2

1 mm³内の微生物の個体数 (匹)

微生物の名前	中学校	ニチイ	エディオン	佐波川	用水路
アオミドロ	3	0	13	0	3
アフアニゾノメン	3	0	0	0	0
アウラコセイラ	7	0	0	0	0
クチビルケイソウ	0	7	3	0	0
クリプトモナス	0	0	0	0	0
クンシヨウモ	0	3	0	0	0
ケンミジンコ	0	3	0	0	0
サヤミドロ	20	33	0	0	0
シカクミジンコ	0	0	0	0	0
ジチルム	0	3	0	0	0
シネドラウルナ	0	10	0	0	0
シャジクモ	0	0	0	0	0
スタウラストルム	7	0	0	0	0

ゾウリムシ	0	0	7	0	3
タルケイソウ	27	143	20	33	3
ヒザオリ	0	0	17	47	3
プテロスペルマ	7	7	0	0	0
フロントニア	0	23	0	3	0
プレオドリナ	0	0	0	0	3
ホシミドロ	3	0	0	0	0
ラッパムシ	0	0	0	0	0
ミドリゾウリムシ	0	0	0	0	0
ケズネモ	7	0	0	0	0
ヒビミドロ	7	0	0	0	0
繊毛虫	0	0	0	3	0
細胞群体	0	0	0	17	0
その他	16	0	20	0	3

5. 結論

CODやpHの値から水質の状態が良い川ほどタルケイソウの個体数が多くなっていることが分かる。また、アオミドロなどはタルケイソウなどと比べて水質の良くない川に多くいることも確認された。以上のことから微生物の種類によっては川の指標となりうるものが推測される。

今後の展望としては、採取や観察の回数を増やし、多くのデータを分析することで、結果をより確実なものにし、さらに細かい傾向を知る

ことができると考えられる。

6. 謝辞

岩国市ミクロ生物館末友靖隆さんには微生物の計測方法・識別の面でご指導いただき大変お世話になりました。

7. 参考文献

- 「やさしい日本の淡水プランクトンハンドブック」滋賀県立衛生環境センター，一瀬諭，若林徹哉監修，合同出版株式会社，2005年
- 「見ながら学習 調べてなっとく ずかん プランクトン」片岡徹発行，株式会社技術評論社，2011年
- 「植物プランクトンを指標とした児島湖流域の水質評価」村上和仁，吉岡敏行，鷹野洋，荻野泰夫，1998年
- 「原生生物図鑑」<http://protist.i.hosei.ac.jp>
- 「ねこのしっぽ ー小さな生物の観察記録ー」<http://plankton.image.coocan.jp/.index.htm>
- 「ウィキペディア」<https://ja.m.wikipedia.org/wiki/ウィキペディア>
- 「コトバンク」<https://kotobank.jp/word/%E3%83%92%E3%83%93%E3%83%9F%E3%83%89%E3%83%AD-1198976>
- 「ミジンコの種類・図鑑 まるで池の天使。名前、見分け方を解説/スモールズー」https://smallzoo.net/mi_jinkozukan