

1. 目的

各 pH によって明確に色が変わる万能指示薬を作る

2. 計画

- (1) pH1～6 の塩酸、pH7～12 の緩衝液作成と正確な pH かの確認
- (2) 各指示薬の溶液作成
- (3) アントシアニンを除く万能指示薬の溶液配合割合の調整
- (4) カラーチャート作成
- (5) (3) (4)を繰り返し、発色の良いパターンを3つ選出する
- (6) 全校生徒ならびに先生を対象に、3つのカラーチャートを比較し、より発色の良いものを選ぶアンケートをとる。
- (7) 集まったデータを集計し、分析する。

3. 実験手順

(1) pH1～6

- ① 濃塩酸(36.5%)4.2mL に純水を加えて 500mL にし、0.1mol/L の塩酸(pH1)を作る。
- ② ①の塩酸を 10mL とり、純水を加えて 100mL にし、10 倍に薄め 0.01mol/L の塩酸(pH2)を作る。
- ③ ②の薄める作業を計5回繰り返し、pH6 まで作る。

pH7～12

- ① 水酸化ナトリウムの粒 4.00g に純水を加えて 500mL にし、アルカリ液を作る。
- ② 85%リン酸 2.31g、ホウ酸 1.24g、酢酸 1.21g に純水を加えて 500mL にし、酸液を作る。
- ③ ブリットン・ロビンソン緩衝液(図 1)に基づき、①のアルカリ液と②の酸液を配合し、pH7～12 の緩衝液を作成する。

(2) 指示薬溶液の作成

メチルレッド(MR)、メチルオレンジ(MO)、ブロモチモールブルー(BTB)、チモールブルー(TB)、フェノールフタレイン(PP)各 0.1g をそれぞれ 100mL のエタノールに溶かす。

アントシアニン水溶液の作成

I:アントシアニン粉末 0.10g+純水 50mL

+エタノール各 50mL (0.1%)

II:アントシアニン粉末 0.50g+純水 25mL

+エタノール各 25mL (1.0%)

波線部補足:合成色素の析出を防ぐためにエタノールを加えた

(3) I:TB 2mL + BTB 2mL + PP 4mL

II:TB 2mL + BTB 2mL + MO 2mL

この配合がきれいに発色した。

(4) I:各指示薬とアントシアニン水溶液(2) I (図 2)

II:混合液(MR+MO+BTB+TB+PP)とアントシアニン水溶液(2) II (図 3)

III:混合液(3) I (図 4)

IV:混合液(3) II (図 5)

(5) 未実施

(6) 未実施

(7) 未実施

4. 考察と展望

酸液側の pH のずれを直すために、濃塩酸から薄めていく方法で作直して修正したい。また、アントシアニンの構造が塩基側で不安定なため、同じく水溶性のリトマスを使い補強することができたらと思う。



図 1 ブリットン・ロビンソン緩衝液

図 2 各指示薬のカラーチャート

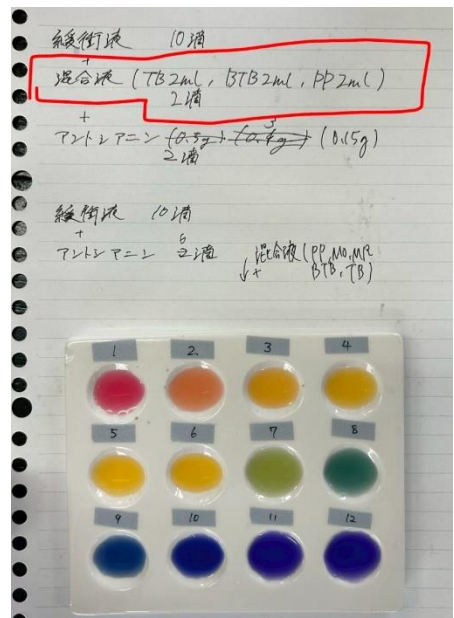


図 3 混合液とアントシアニン水溶液(2) II 図 4 混合液(3) I のカラーチャート



図 5 混合液(3) II のカラーチャート

R8 理数探究 中間報告 ハーディー・ワインベルグ班

1. テーマ

- ・紫キャベツの色素を用いた天然インクの製作
- ・ビオラの花弁の色が変化する条件の検討

2. 概要

我々は、紫キャベツ色素水溶液を使った天然インクが合成インクの代わりになり得るものなのかどうかに興味を持ち、天然インクの製作をする実験を行った。

また、花の色が生育の途中で変わるビオラがあると知り、そのビオラがどのような条件で花弁の色を変化させるのか興味を持った。そこで、種から育てたビオラを様々な条件で栽培し花の様子を観察した。

3. 研究内容

(A)実験① 紫キャベツ水溶液にクエン酸を加える

紫キャベツ色素水溶液を紙に塗布すると、紙に含まれるアルカリ性の成分により変色してしまう。これを防ぐため、溶液に酸を加えてから色素を紙に塗布した。

<手順>

I: 1%の紫キャベツ色素水溶液を15ml用意する

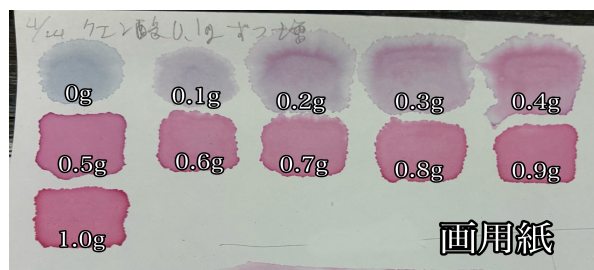
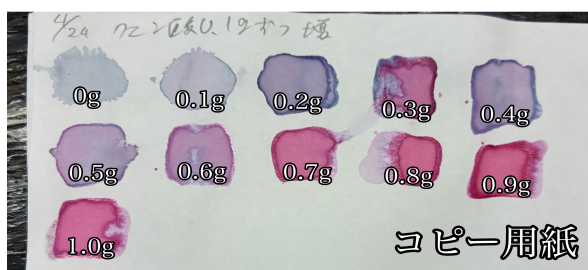
II: クエン酸0.1gを量り、Iの水溶液に入れる

III: IIで調合した水溶液を画用紙、コピー用紙に塗る

(クエン酸は1g加えるまで I ~ IIIを繰り返した)

結果①: 0.5gのクエン酸を加えたあたりから、画用紙の方は赤色が見られた(写真1)。一方コピー用紙は、クエン酸を0.5g加えるまでは乾くと青色となった。0.6gのクエン酸を加えるまではアルカリ性が優勢だったが、0.7g以降は酸性が際立った。

考察①: 溶液の色が赤いままであることから、溶液が両紙のアルカリ性を上回るほど酸性になったと考えられる。



実験②:クエン酸溶液またはゼラチン溶液で表面を処理する

クエン酸またはゼラチンを画用紙、コピー用紙に塗ると、紫キャベツ色素水溶液が紙の表面のアルカリ性物質と反応しにくくなるのではないかと考え、これらを塗布した紙に紫キャベツ水溶液を塗布した。

<クエン酸の手順>

I :水100mlに対し、クエン酸を2.5g混ぜる

II : I を画用紙、コピー用紙に塗る

III : II のうえに1%の紫キャベツ色素水溶液を紙が乾いた後で塗る

<ゼラチンの手順>

I :水160mlに対し、5gのゼラチンを加え、熱を与えゼラチンを溶かす。

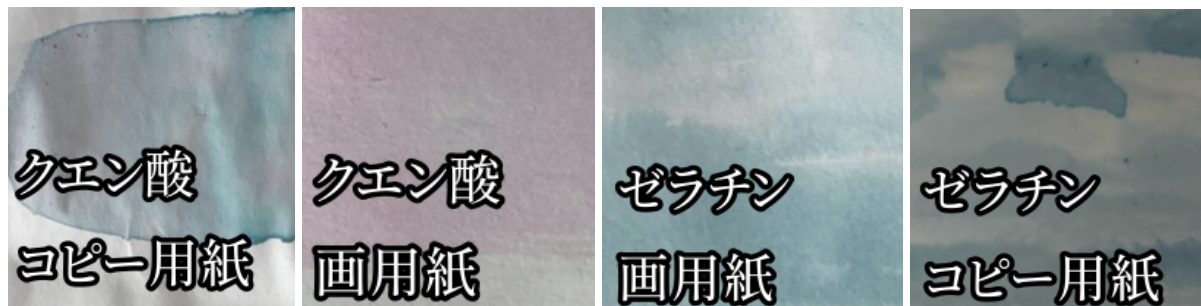
II : I を画用紙、コピー用紙に塗る

III :紙が乾いたあとで1%の紫キャベツ色素水溶液を塗る。

結果②:クエン酸を塗った画用紙は紫キャベツ溶液を塗布したところ綺麗な赤紫色になった。コピー用紙は比較的青色は抑えられたものの、青みの強い紫色になった。一方ゼラチンを塗ったものは、画用紙コピー用紙ともにクエン酸を塗ったものに比較しより青みが強くなった。

考察②:今回、クエン酸で処理した紙では画用紙は赤色のままだったが、コピー用紙では青紫色になった。これは、画用紙の方がクエン酸を表面に保持しやすく、十分に酸性であったためだと考えられる。一方、コピー用紙は表面がなめらかでクエン酸が染み込みにくく、青紫色になったと考えられる。

ゼラチンで処理した場合はどちらも青色になった。ゼラチン自体は強い酸性ではなく、アントシアニンが青色を示したと考えられる。



実験③:中性洗剤を紫キャベツ色素水溶液に混ぜる

界面活性剤が水中で集まった構造(ミセル)が紫キャベツ色素水溶液の分子をミセル内にとりこんで、画用紙とコピー用紙のアルカリ性物質が反応しにくくなるのではないかと考え、色素溶液に中性洗剤を加えて紙に塗布した。

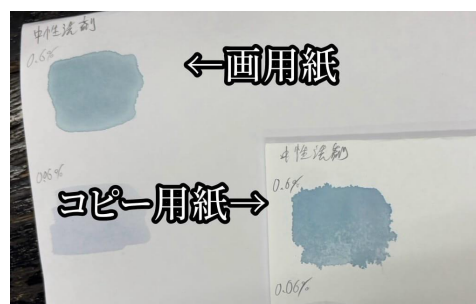
<手順>

I : 中性洗剤(界面活性剤33%)10mlに水を23ml加える。

II : I を紫キャベツ色素水溶液15mlに1ml加え、画用紙とコピー用紙に塗る。

結果③:画用紙、コピー用紙共に青色となった。コピー用紙の方がより青色だった。

考察③:画用紙よりコピー用紙の方が強く青となったのは、コピー用紙に含まれている弱アルカリ性の物質が原因なのではないかと考えられる。実験①では、画用紙よりもコピー用紙のほうが青色になりやすかったが、ここでもコピー用紙のほうが青色であった。これはコピー用紙の紙表面のアルカリ性物質が、画用紙の紙表面のものより強いからであると考えられる。



実験③塗布後の様子

実験④:FeCl₃aqを紫キャベツ色素水溶液に混ぜる

FeCl₃と紫キャベツ色素水溶液内のアントシアニンが錯イオンを形成し、アントシアニンの色素が安定すると考え、FeCl₃を色素溶液に加えて紙に塗った

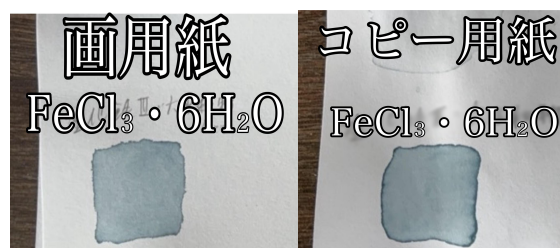
<手順>

I :FeCl₃・6H₂O 1.67gを100mlの精製水に入れ、1%のFeCl₃aqを調製

II :紫キャベツ色素水溶液10mlに I を10滴加えて画用紙、コピー用紙に塗る

結果④:両紙とも青く変色した。

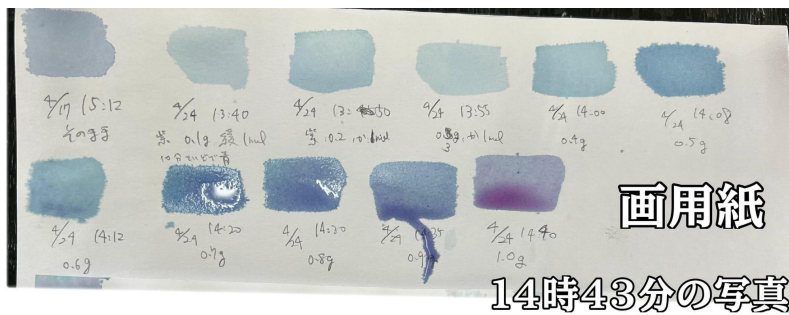
考察④:アントシアニン色素の安定化が見られなかったのは、加えたFeCl₃が少なかったことが考えられるので、FeCl₃をさらに加えてアントシアニンの安定化ができないか検討したい。(現在のFeCl₃とアントシアニンのモル比は約7:1であり、これを3:1か1:1にする予定)



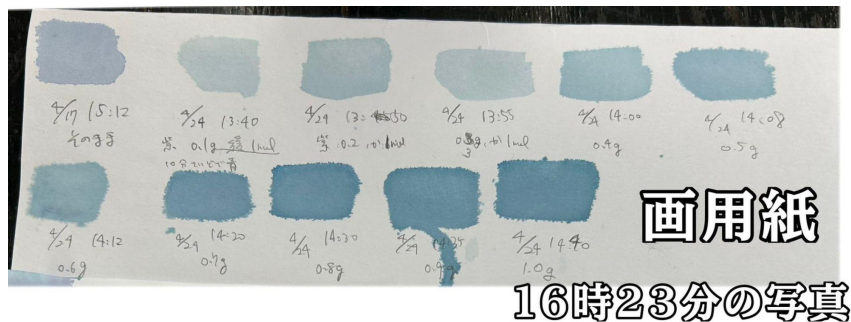
(B)実験①:昨年度0.1mol/Lの酢酸緩衝液を用いた実験を行った。我々はこの酢酸緩衝液の濃度を上げることで紫キャベツ溶液の紫色をより長い時間紙に残せるのではないかと考えた。そこで、1mol/Lの酢酸緩衝液100mlに紫キャベツパウダーを0.1gずつ加え、画用紙に塗布する実験を行った。

結果①:紫キャベツパウダーを加えるほど、溶液の色が紫色から青色になるまでの時間が長くなっていった。

→0.4g加えて塗布する実験までは5分経てば色が青色になっていたが、0.5g、0.6g加えた実験では10分で青色に、0.7g以降は10分後もまだ紫色がみられた。しかし、30分後には全て青色に、約2時間後には緑色になるものもあった。



【実際に紙に塗った様子】

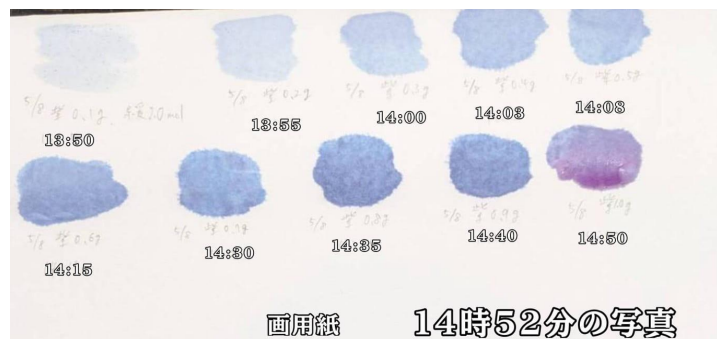


【パウダー1.0g塗布から約2時間後の写真】

考察①:0.1mol/Lの酢酸緩衝液を用いた実験と比較すると1.0mol/Lの酢酸緩衝液を用いた実験のほうがより長い時間紫キャベツ溶液の紫色を紙に残せていた。その ため、緩衝液はpHが変化するのを防ぐ効果をもっているということは確認できた が、長時間持続するものではないということが分かった。1mol/Lの酢酸緩衝液で は紙の充填材が溶け出したときのpHの変化を防ぐことができないのではないか。

実験②: 実験①を受け、緩衝液の濃度を上げると紫キャベツ溶液の紫色を紙により長い時間残せると考え、2mol/Lの酢酸緩衝液100mlに紫キャベツパウダーを 0.1gずつ加え、画用紙に塗布する。

結果②: 紫キャベツパウダー 0.1g～0.5gまでは青や薄い青、0.6g～0.8gでは青紫、0.8g～1.0gではより濃い青紫となっていた。①よりも紫キャベツパウダーの色が残っていて、乾いても青で止まり、緑色にはならなかった。



【実際に紙に塗った様子】

考察②: 実験①よりも濃い青紫色になったことから、緩衝液の濃度を上げたことで、紫キャベツの色を保ちやすくなったと考えられる。また、緑色にならなかったことから、強い塩基性になるのを防ぐことができたと思われる。緩衝液の濃度を上げていったら水溶液の紫色を保つことができる適切な濃度がわかるのではないかな。

(ビオラ) 実験: ポットに植えた状態のビオラを様々な条件で育てた。

使ったビオラはタキネットで購入した「オレンジジャンプアップ」と学校の先生からいただいた何色が咲くのかは分からない「ミックス」。ミックスは色が変わるのか不明だが、通販で購入したものと比較するため用いる。

(以降「オレンジジャンプアップ」を(オ)、「ミックス」を(ミ)と表記する)

また、本研究は3月25日～4月26日まで行った。

以下の条件でビオラを栽培した。また、自然光(室内)と

自然光(室外)で育てたもの以外は下の写真のような箱の装置の中で育てた。

条件1:(オ)光強、白色LED

条件2:(オ)光弱、白色LED

条件3:(オ)光強、赤色LED

条件4:(オ)光弱、赤色LED

条件5:(オ)光強、青色LED

条件6:(オ)光弱、青色LED

条件7:(ミ)光強、白色LED

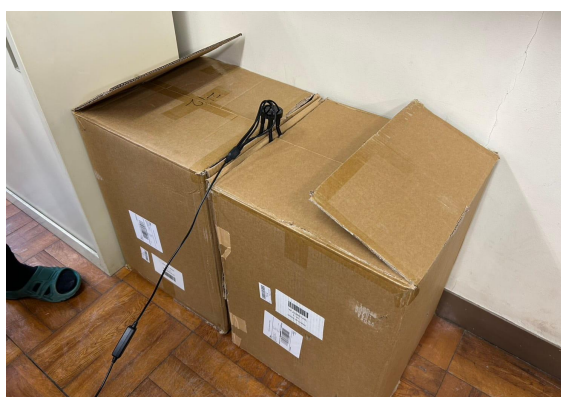
条件8:(ミ)光弱、白色LED

条件9:(オ)自然光(室内)

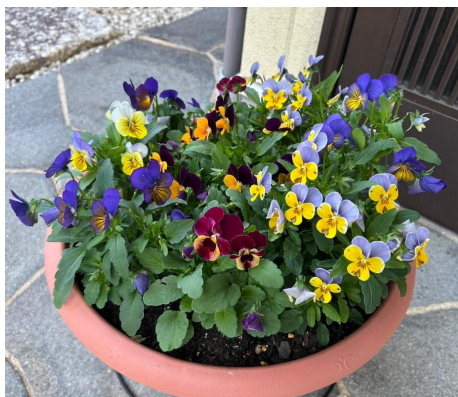
条件10:(ミ)自然光(室内)

条件11:(オ)自然光(室外)

条件12:(ミ)自然光(室外)



【LEDの実験に用いた装置】↑



↑【自然光(室外)の様子】



←【自然光(室内)の様子】

結果:LEDで育てたビオラは枯れてしまったので、花の色を見ることはできなかった。また、自然光や外で育てたビオラは色の変化が起きていたが、大きな差は見られなかった。

考察:箱の中でLEDを使って育てたビオラが枯れてしまった原因は、箱が密閉された空間だったため空気の循環が起こりにくかったことが挙げられる。また、水やりの際に、ビオラの土から出た水が溜まったままになっており、土がずっと湿気った状態だったことで、根腐れを起こしてしまったことも考えられる。自然光で育てたビオラについては、色が変わっているものがあったが、大きく変化したわけではなかった。



←
【色の変化が見られたビオラ(左:4月24日、右:4月26日)】

4. 今後の展望

(A): FeCl_3 とアントシアニンのモル比を考慮して、色素の安定化を目指す

(B): 緩衝液の濃度を上げることで、紫キャベツ溶液の紫色が残りやすくなることがわかったため、酢酸緩衝液の濃度をより上げた実験を行いたい。また、紫キャベツ溶液の色素をアラビアガムとゼラチンから形成するマイクロカプセルに取り込むことで、色素の変色を防ぐ実験を行いたい。

ビオラ: LEDを使った実験で花が枯れてしまったことと、花が咲く時期が終わりかけであることからここで実験は打ち切りにする予定。

5. 参考文献

<https://share.google/OcCHV6ixOpfrCOT14>

<https://share.google/ZJs6oWWdvVDRIsoUc>

<https://share.google/LOmGTBFoKtgrR0ZRO>

<https://share.google/QgWJzPFFPWqQ3pz1u>

RHS.「Artificial lighting for indoor plants」

<https://www.rhs.org.uk/plants/types/houseplants/artificial-lighting?utm>

理数探求 中間報告書

ウィンガーディウムレビオーサ班

《概要》

春日井高校の校歌を歌っている時、校歌が歌いにくいと感じることがあったため、色々な学校の校歌を調べて分析してみることにした。

《序論》

先行研究より、校歌は様々な式典で歌われており、その学校周りの自然環境や、校風などを表すものとして後世に長く受け継がれているものだとある。このことから、私たちはより後世に受け継ぎやすく、大切に歌われるような校歌はどのようなものかを調べたいと考えた。また、ありきたりな歌詞や旋律は単調でつまらないと批評されがちだと先行研究に記述してあったため、つまらないと批評されない校歌を作ろうと考えた。

先行研究では、作られた時代の様子を表しているかどうか、校歌の歌詞から各時代の学校教育・社会の変化の様子をくみ取れるのかという仮説をたてて研究を行っていた。研究の結果、校歌はその時代を映す鏡のようなもので、日本人の価値観を明治を境に変容させたものだとかかっている。また、校歌の歌詞には愛国心、愛校心を生むものであり、今日の日本人の音感の変化にも寄与するものであるとかかっていた。

《分析結果》

8つの観点に着目して分析し、グラフを作成した。以下の学校の校歌を分析した。

- ・春日井市立鷹来中学校
- ・春日井市立南城中学校
- ・春日井市立中部中学校
- ・春日井市立坂下中学校
- ・愛知県立春日井高校
- ・愛知県立向陽高校
- ・愛知県立旭丘高校
- ・愛知県立明和高校

①調性

調性

高校数

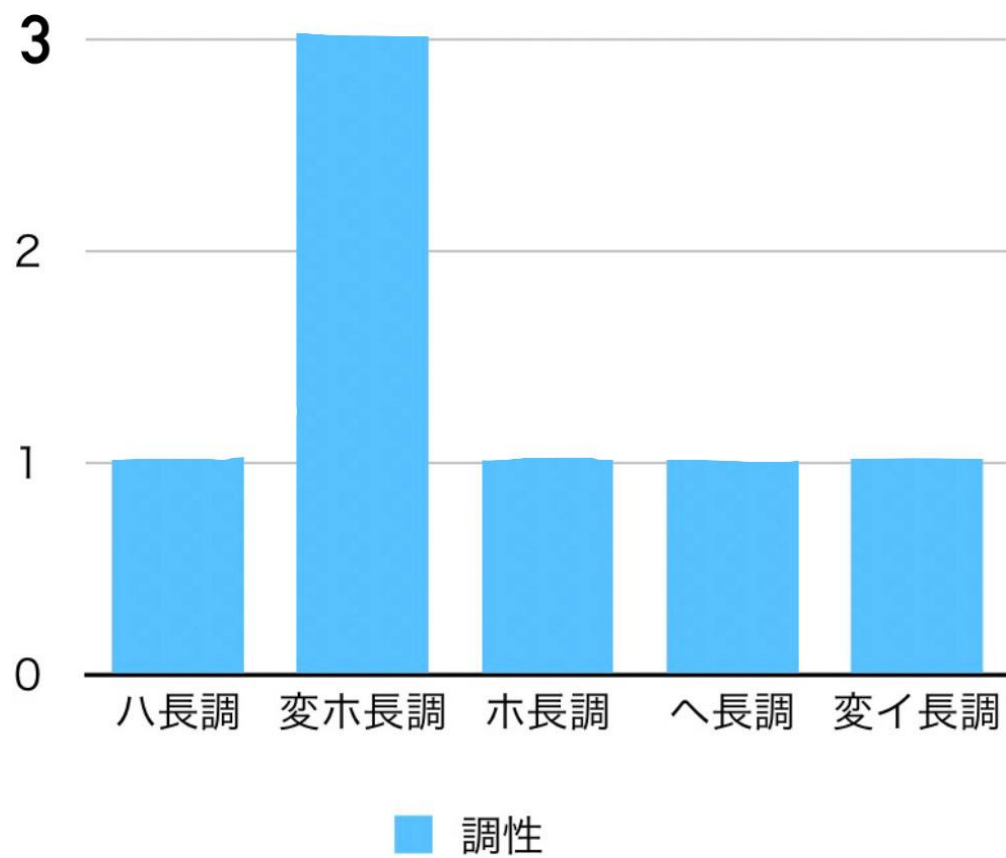


表1

	調性
八長調	1
変木長調	3
木長調	1
ヘ長調	1
変イ長調	1
変口長調	1

②拍子

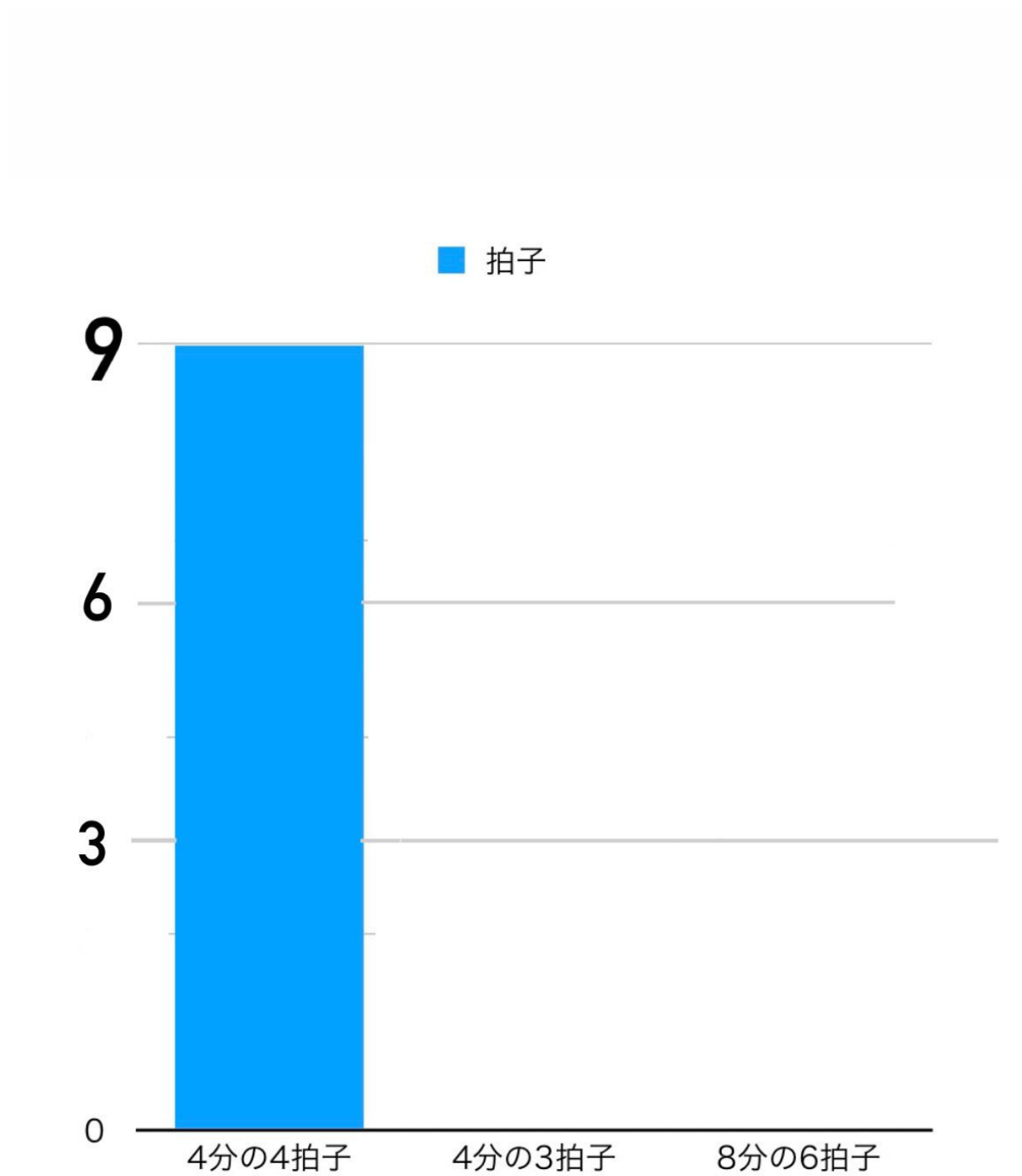


表1

	拍子
4分の4拍子	9
4分の3拍子	0
8分の6拍子	0

③最低音、最高音



■ 最低音 ■ 最高音

学校数

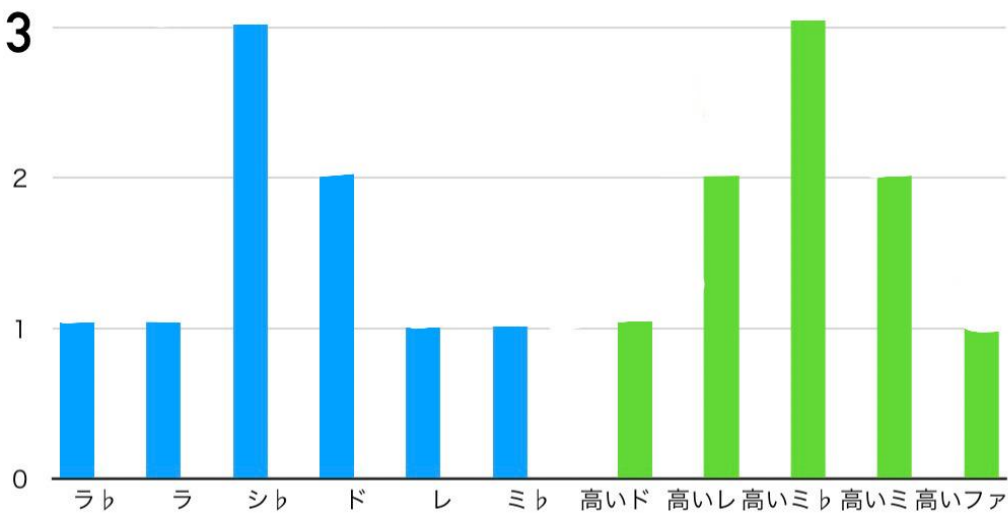


表1

	最低音	最高音
ラ♭	1	0
ラ	1	0
シ♭	3	0
ド	2	0
レ	1	0
ミ♭	1	0
高いド	0	1
高いレ	0	2
高いミ♭	0	3
高いミ	0	2
高いファ	0	1



④曲調

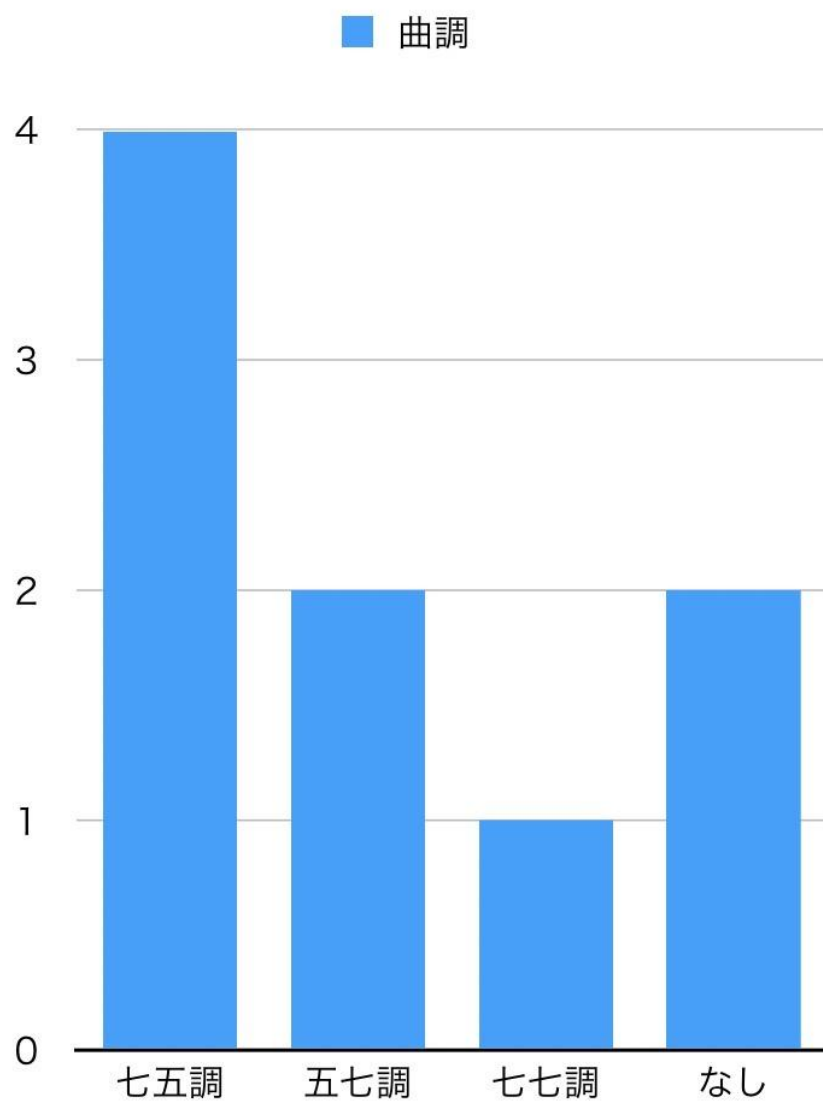


表1

	曲調
七五調	4
五七調	2
七七調	1
なし	2

⑤主なリズム



表1

	6回	7回	8回	9回	10回
♩. ♩ ♩ ♩	1	1	0	1	0
♩ ♩	1	0	0	0	1
♩ ♩ ♩ ♩	0	0	0	0	0

⑥テンポ

高校数

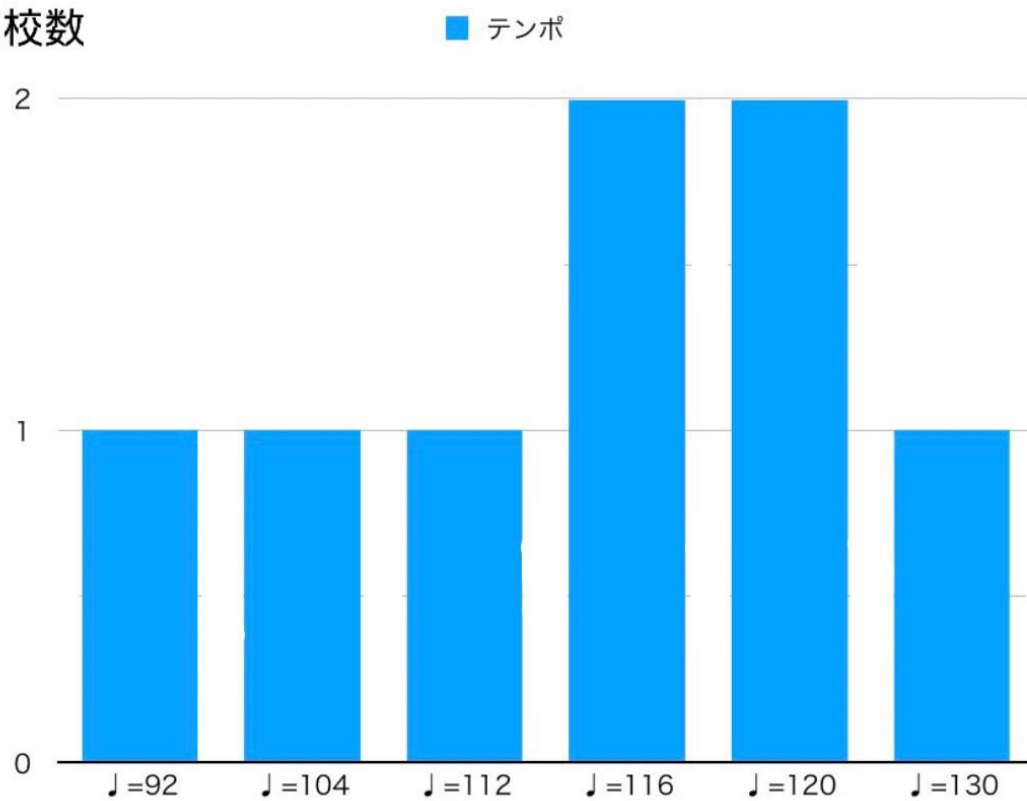


表1

	テンポ
♪=92	1
♪=104	1
♪=112	1
♪=116	2
♪=120	2
♪=130	1

⑦ 跳躍

学校数

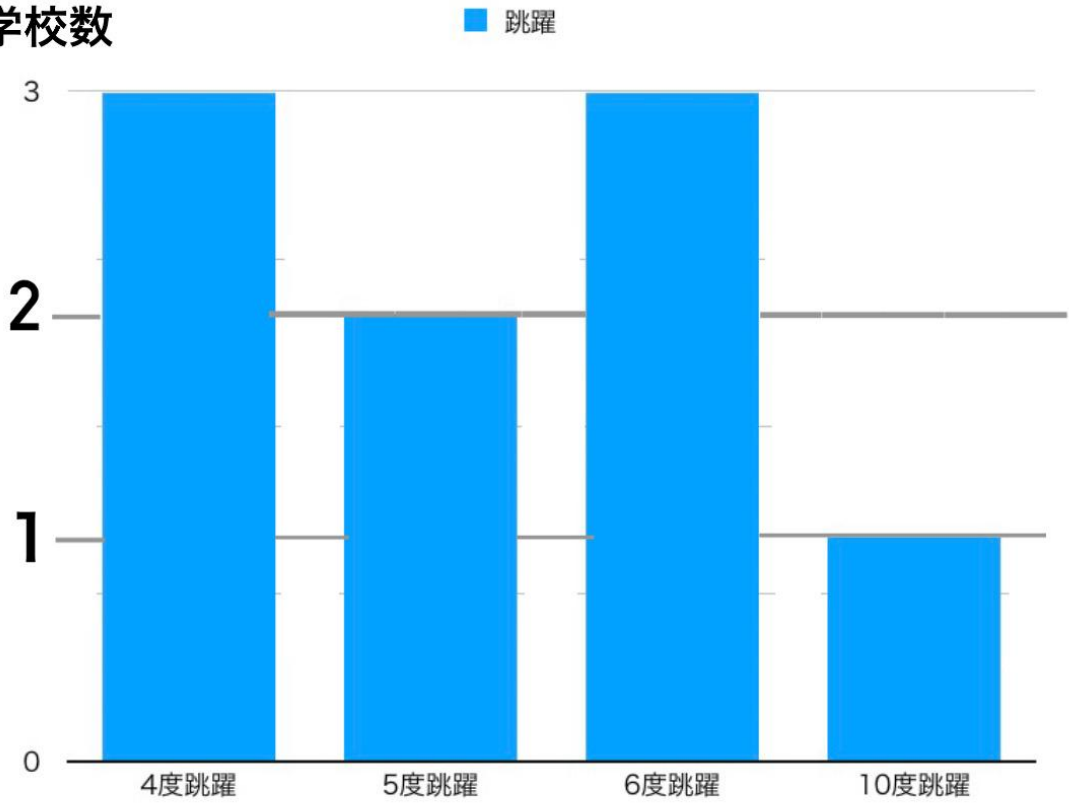


表1

	跳躍
4度跳躍	3
5度跳躍	2
6度跳躍	3
10度跳躍	1

⑧同フレーズの出現回数

高校数

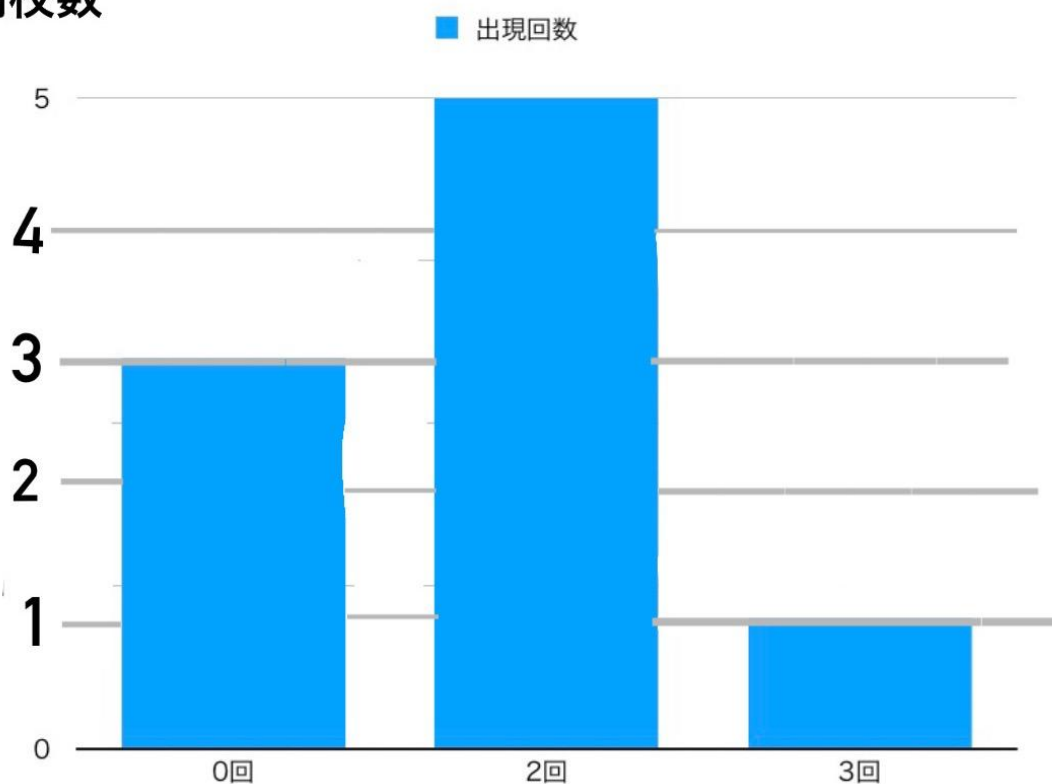


表1

	出現回数
0回	3
2回	5
3回	1

《考察》

・①から、変 $\circ$ 調が多いが、聞き馴染みのあるハ長調やヘ長調の調号が少ない調性の方が歌いやすいと考えた。

・②から、どの校歌も4分の4拍子で一番聞き馴染みのある拍子が4分の4拍子だから歌いやすいと考えた。

→実際に校歌の3分の2が4分の4拍子である。

・③から、最低音と最高音との幅は1.5オクターブが多いことが分かる。中高生の歌いやすい音域は女子はドから高いドまで、男子は低いソからソまでなので、最低音で多いシ $\flat$ と最高音で多い高いミ $\flat$ は比較的歌いやすいと考えた。

- ・④から、七五調や七七調が多いのは、日本の詩や俳句を参考にして作詞している学校が多いからなのではないかと考えた。
- ・⑤から、主なリズムが単純で何回も使われている校歌の方が印象に残りやすく歌いやすいのではないかと考えた。
- ・⑥から、J=120が多いことがわかる。これは、マーチなどのノリやすいテンポに多く、人の歌いやすいテンポであるからだと考えた。
- ・⑦から、4度と6度跳躍が多いが、4度跳躍が多いのは他の跳躍より音に移り変わりやすいため多いと考える。6度跳躍はメロディーを歌う時に表現力が高まるので多いと考える。また、4度跳躍は力強さ、希望を表現しやすく、6度跳躍は高揚感を表現しやすいと考えた。
- ・⑧から、回数が少ない校歌より多い校歌の方が印象に残りやすく歌いやすいのではないかと考えた。

《今後の展望》

この分析結果を元に、新たに春日井高校の歌いやすい校歌を作成する。クラス、学校内で本当に歌いやすいのかどうかの調査をしたい。

R8年度 理数探求 中間報告 テーマ:回転式アニメーションでの長時間再生

<概要>

連続した図柄の描かれた円盤を特定の周期で回転させ、特定のフレームレートのビデオで撮ることで、アニメーションを作ることができる。従来の方式では、アニメーションの長さは円盤に書き込まれた図柄の多さに依存している。今回の探究では、その制限を克服することを目的としている。

<活動>

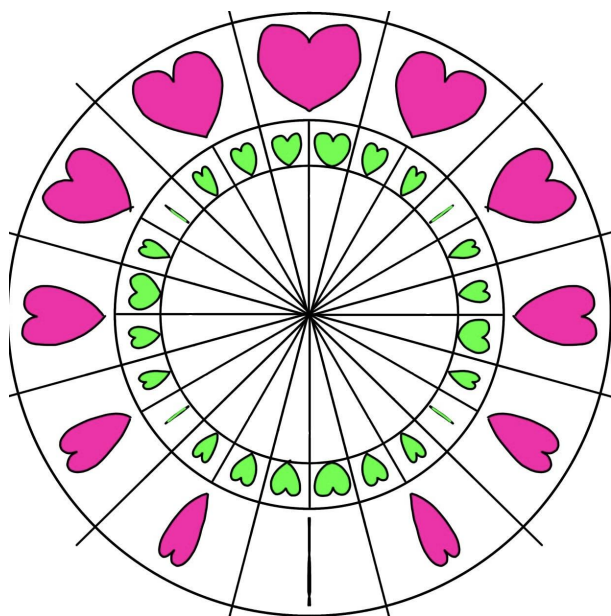
方針として、図柄と回転装置に課題を分けた。図柄はパソコン上で描画し印刷。回転装置はモーターを使い、電圧やギア比で速度を調整していく。

図柄は下図を第一案として作成。

モーターの回転数とフレームレートについて、動画の1フレームごとに絵柄が1つ進んでいくことで、アニメーションとして成立する。

例として、60FPSの動画で撮影する場合、下図の赤ハートで考えれば1フレームごとに $\pi/8$ 回転させることができればいい。

仮説として、外側と内側、異なるフレームレートで回転させることで目標の達成ができるのではないかと考えた。これを印刷し、モーターと接続、回転させていった。



<現状>

モーターで円盤を回転させ、カメラで動画を撮影、速度の調整を行っている。その過程で、モーターを時計回りに回転させたときに、外縁部は反時計回り、内縁部は時計回りに回っているように見られた。よってさらに回転数を増やすと、外縁部では回転数が十分なためアニメーションが

表示され、内縁部では回転数が不十分なためアニメーションが表示されず、仮説が実証され则认为。

<展望>

- ・図柄の対照実験(異なる図柄や、同じ柄で異なる色)
- ・モーターの回転数を計測し、カメラのFPSとすり合わせて比較

「音楽で植物を支配できるか」

1. 研究目的

前回の実験では、スプラウトに音楽を聴かせることで成長が促進され、特に音楽の速度が遅いほど成長が良くなる傾向が見られた。

そこで今回の研究では、

- 音楽のジャンルを変えると植物の成長にどのような違いが出るのか
- スプラウト以外の植物(ラディッシュ)でも同様の結果になるのか
- 音楽のどのような要素(速度・高さなど)が植物の成長に影響を与えているのか

を調べることを目的とした。

2. 仮説

ラディッシュについて

前回の実験で、スプラウトに音楽を聴かせることで成長が促進されたことから、ラディッシュでも同様に成長が促進されると予想した。

スプラウト(ジャンル別)について

次の2つの可能性を予想した。

① BPM(テンポ)が遅い順で成長する

前回の実験では、速度が遅い順に成長が良かったため、今回もBPMが遅い音楽ほど成長すると予想した。

- J-POP: 約112 BPM
- クラシック: 約120 BPM
- ヘビメタ: 約162 BPM

② 音の高さが低い順で成長する

前回の実験で「速度が遅い音楽」の成長が良かった理由は、音が低かったことも関係している可能性がある。そのため、低音が強いヘビメタが最も成長すると予想した。

3. 実験①

〔実験内容〕

(1)ラディッシュ

ラディッシュ(20日大根)を、音楽ありと音楽なしの条件で25日間育てた。音楽にはJ-POPを使用した。双葉が開いたら1回目の間引きと土寄せ、本葉が2, 3枚になったら2回目の間引きを行い育てた後、全長の長さや葉の枚数を測定する。

(2)スプラウト

スプラウトに以下の3種類の音楽を聴かせながら育てた。

- J-POP
- クラシック
- ヘビメタ

〔実験条件〕

音量 箱で覆えばほぼ聞こえなくなる程度の音量で流した。

音楽を流した時間 午後3時30分～0時までの約8時間。

育成期間 ・ラディッシュ:約3週間
・スプラウト:約1週間

育成環境 どちらも生物室で育成した。(スプラウトはインキュベーターのなか)

水やり どちらも1日1回、適量を与えた。

光条件 ・スプラウト:光を当てない
・ラディッシュ:少量の光を当てる

〔実験① 結果〕

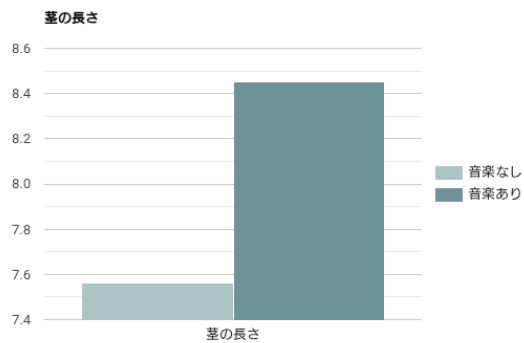
(1)ラディッシュ

間引き後11本 実は育たず、植物も倒れてしまい継続困難と判断した。

単位は平均の長さ(cm)

	音楽なし	音楽あり
--	------	------

平均の長さ	7.56	8.45
葉の枚数	4	4



(2)スプラウト

目視で比較した結果、成長順は以下ようになった。

1. クラシック
2. ヘビメタ
3. J-POP



ただし、ヘビメタとJ-POPには大きな差は見られなかった。

[実験①考察]

(1)ラディッシュ

平均の長さを比較すると、音楽ありの方が音楽なしよりも長く成長していた。このことから、音楽がラディッシュの成長に何らかの影響を与えている可能性があると考えられる。ま

た、葉の枚数についても違いが見られた。平均はどちらも約4枚であったが、細かく見ると、音楽なしでは3～5枚と個体差があり、生え方が不安定であった。一方、音楽ありではほぼ全て4枚で一定しており、比較的安定して成長していた。

これらの結果から、音楽をかけることでラディッシュの成長速度や成長の安定性が高まる可能性があると考えられる。また、波形や周波数など、植物ごとに成長しやすい音の条件が存在する可能性もあるもあるが、おそらくどの植物でも音楽によって成長が促進されるだろうと考えた。しかし、今回の実験ではデータが1回分しかなく、成長量の測定回数も十分ではなかったため、結果の信頼性には課題がある。また、ラディッシュの重要な部分である根(実)がほとんど成長していなかったため、植物全体への影響について十分に評価することはできなかった。

また、ラディッシュについては育成環境にも問題があった可能性がある。

改善策として、

- 水やりは土が乾いてから行い、過湿を防ぐ
- 日当たりの良い場所で育てる
- 高温・乾燥時は換気扇を回して調整
- 害虫対策として防虫ネットを使用する
- 双葉が開いたら1回目の間引き、本葉が2～3枚になったら2回目の間引きを行い肥料を10g与える

などを行う予定である。

(2)スプラウト

前回までの実験では、同じ音楽の再生速度のみを変化させていたため、速度と植物の成長の関係を比較しやすかった。しかし、今回はジャンルごとに異なる曲を使用したため、BPM(速度)だけでなく、音の高さや音色など複数の条件が同時に変化している。そのため、今回の結果から「速度」と「高さ」のどちらが植物の成長に影響しているのかを判断することは難しいと考えた。

現時点では、この結果に対して十分なアプローチを行うことはできないと判断したため、今回の結果は一旦保留とし、今後は「速度」と「高さ」を分けた実験を行う必要があると考えた。

4.実験②

〔実験内容〕実験①の再度実験

目的:偶然性をなくすため、数値的データの測定

(1) ラディッシュ

今後やっていく予定

(2) スプラウト

音楽無しの場合を加えて、それぞれ2個ずつ増やし計2×4の8セットで行う。母数の種を49粒に固定し発芽率や茎、根の長さを測定する。

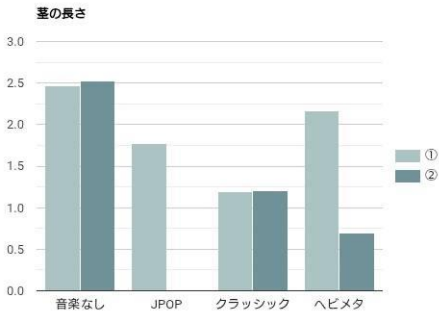
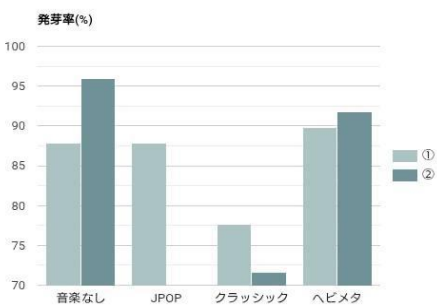
[実験条件]

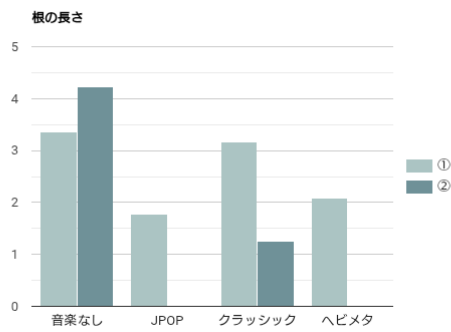
育成環境のみ変更 音楽なしはインキュベーター、3ジャンルはライフトレーの中

[実験②結果]

単位は発芽率(%)茎・根の長さ(cm)

	音楽なし		JPOP		クラシック		ヘビメタ	
発芽数	43	47	43	#	38	35	43	45
発芽率	87.8	95.9	87.8	#	77.6	71.4	89.8	91.8
茎の長さ	2.47	2.52	1.77	#	1.19	1.20	2.17	0.70
根の長さ	3.36	4.23	1.78	#	3.16	1.08	2.59	#





図は左から音楽がスプラウトの発芽、発茎、発根に及ぼす影響



写真は左から音楽なし、JPOP、クラシック、ヘビメタ

[実験②考察]

(2)スプラウト

外に置いて音楽を聴かせたスプラウトたちは日光などの光が当たり緑化することはできたものの乾燥しやすくなり植物の育ちづらい環境であるのに対し、インキュベーターの中にあるスプラウトは緑化はしていないものの常に湿った環境であったためよく育ったと考えた。

音楽ありの三つはあまり大きな差はないにも関わらず、J-pop、ヘビーメタルは二つのうち片方が明らかに育ちが悪かったので自分たちの育て方や一方にだけ何か外的要因があって育たなかったのではないかと考えた。また、クラシックが発芽率なども踏まえ育ちが悪く、実験①の結果と全く異なる結果となり、その上数値の差も法則を見つけられなかったので今までの結果から考えると育成環境を統一せず、対照実験がうまくできなかった可能性があると考えた。

5. 今後の展望

次の実験では速度による関係を調べるか、現在の実験でもやっている、どのジャンルかについて、最もよく育ったジャンルの音楽に焦点を当て、様々な種類の音楽を聴かせたり、音程をそのままにして低倍速で音楽を聴かせてみたい。

参考文献

<https://www.kagome.co.jp/vegeday/grow/202001/10027/>

佐野日本大学高等学校

大阪教育大学附属天王寺中学校

2026年5月22日

理数探究 ヒ。班

中間報告書

1. きっかけ

日本には雨が多いことから、雨を利用して家庭でできる発電について考えた。そこでダムの水力発電の機構を参考にし、雨どいを利用した発電について探究している。

2. 行った実験

中間報告までの期間に、本実験・計測のために確かめておきたいことについて実験した。

(i) 3Dプリンタを用いて作成した水車の動作確認

まず実験するにあたって、比較的身近な3Dプリンタを用いて発電機構を作成しようと考えた。しかし3Dプリンタの使用は初めてだったので、3Dプリンタで作成した機構がきちんと動作するかを確かめようと考えた。そこで簡易的な縦回転の水車を3Dプリンタで作成し、作成した水車の上から水を流した。結果、水車は壊れることなく正確に回った。なお、この実験の目的は動作確認なので、水を流した高さや、流した水の量などは計測していない。

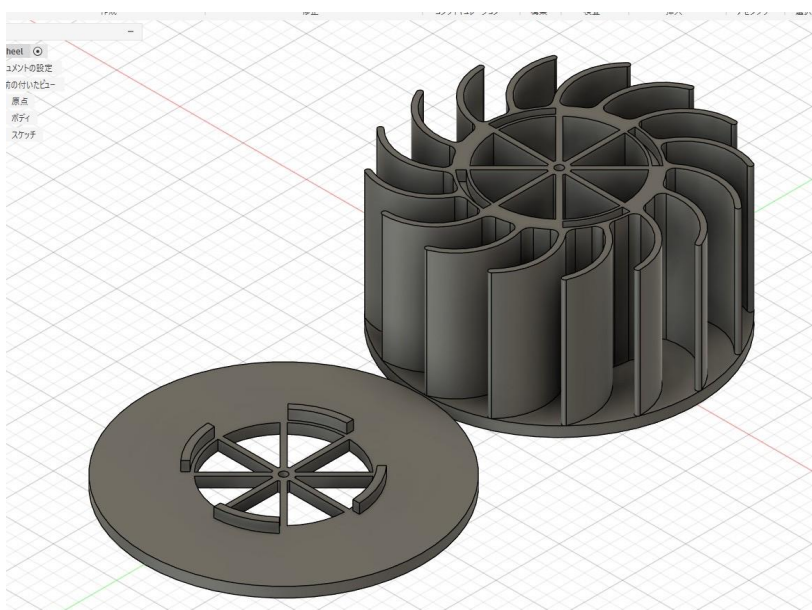


図1. 使用した縦回転水車のモデル

(ii) 雨どいを流れる水の落下

力学的エネルギーを多く持った水ほど、発電機構を多く稼働させることができる。したがって水が雨どいの中を落下している間、力学的エネルギーを保持しているかは重要な点である。私たちは、雨どいの中を水が流れている間水は自由落下していて、落下中力学的エネルギーは保存されると考えた。それを確かめるために、水を自由落下させた場合と水が雨どいの中を流れる場合、それぞれの場合の、水を流し始めてから地面に到達するまでの時間を計測し比較した。この実験では、水を落とす高さを9.06mに行っている。結果は表のようになった。

表1 地面への到達時間

	一回目の計測	二回目の計測
自由落下	N	1.28s
雨どいの中	4.86s	3.71s

※ Nは記録なしを示す。

自由落下の落下時間と雨どいの中を通る際の時間とでは差が明らかに大きい。また実験中雨どいの中を流す際、壁を伝って水が流れていく様子が確認された。したがって雨どいの中を通る際には自由落下をしておらず、壁との摩擦力等によって力学的エネルギーは保存されないと考えられる。

3. 現状・成果

雨どい発電の効率化・実用化に向けて、まずどの発電機構を用いるかを決定することにした。ダムにおける水力発電によく用いられる機構として、水車とスクリーンがある。両機構は水に適した機構なので、この二つの機構のうちより雨どい発電に適した機構を用いることにした。そこで3Dプリンタで条件をそろえた両機構を作成し、電流・電圧の大きさを計測・比較しようと考えた。現在は、両機構のモデリングまで完了した。

※水車とスクリーンの内径、外径をそれぞれ30mm、60mmとする形で条件をそろえることとした。

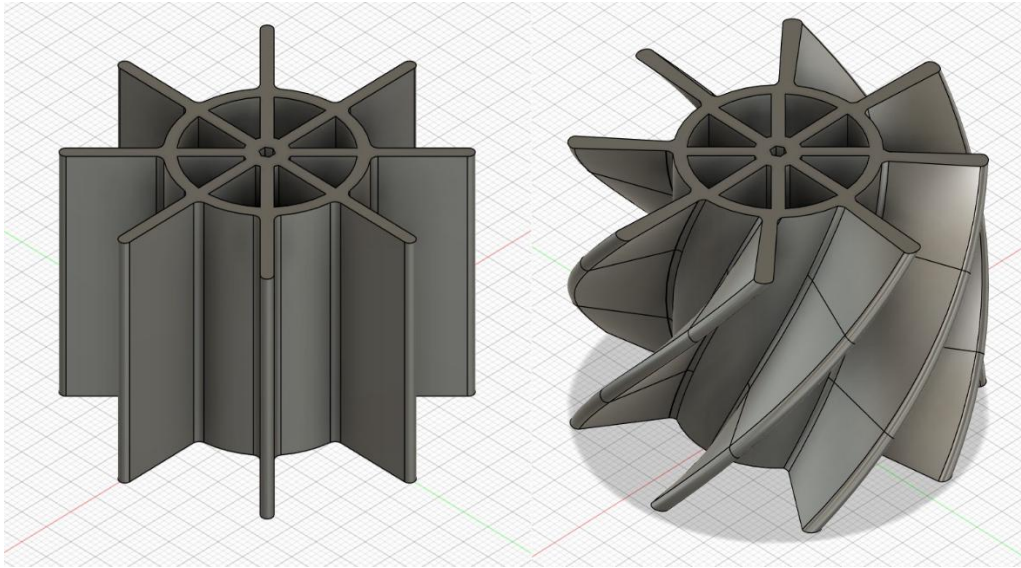


図2. 作成したモデル。左のモデルが水車、右のモデルがスクリュー。

4. 展望・計画

まず両機構を作成・計測し、発電効率の比較を行うことでどちらの機構を雨どい発電に用いるかを決定する。その後選んだ機構で、雨どい発電により適する形状(はねの大きさや角度、内径、外径の大きさ等)で探求し、発電効率の上昇を目指したい。

中間報告書

大自然のハシビロコウ 班

【テーマ】

DNAの塩基配列 (A, T, G, C) を音符や音のデータに変換して音楽にする試みであるDNAミュージックを用い、聴覚的な情報から対象の違いについて考える。

音にすることで、視覚情報だけではわからないパターンなどを聴覚情報でわかりやすくする。それにより、視覚障害のある方でもDNAの流れの特徴を認識することができる。

【概要】

今回は、違いを認識することに重点を置き、例としてカエルの皮膚のコラーゲンを対象に、複数種類のカエルの塩基配列をもとに、DNAミュージックを作成した。これは他の動物と比べて種類ごとの色や毒(毒に耐えうる皮膚)が大きく異なることから興味を持ち決定した。

また、共通のタンパク質としてコラーゲンを使用する。コラーゲンは多くの生き物が共通して持つタンパク質の代表例である。他にもケラチン（髪、爪、皮膚などを構成するタンパク質）やクリスタリン（水晶体を構成するタンパク質）なども候補に挙がったが、カエルの皮膚は毒性があるものもいるので、主に皮膚にあるタンパク質であるコラーゲンに決定した。

【事前準備】

- ① 使用した塩基配列はNCBIから引用した (Fig. 1)。
- ② DNAミュージックを作成するためのプログラムを作成した (Fig. 2, 3)。プログラムは、「塩基配列を提示した方法で音にするもの」と、「その音を音符にして楽譜を作成するもの」の2つを用意した。
- ③ 塩基配列を音に翻訳する法則はアミノ酸の分類に基づいて決定した。下記に対応表を添付した。アミノ酸の二文字目で12音から候補を三音を選び、アミノ酸の分類（酸性・塩基性・親水性・疎水性・その他）で音階を決定し、三文字目で音の高さを決定する仕組みを採用している。終始コドンは休符とした。

(Fig.1 塩基配列を引用したNCBI)

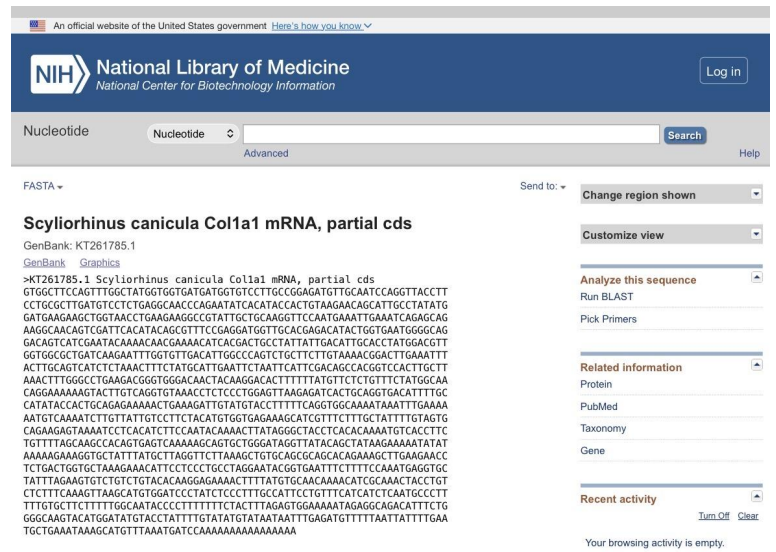
トップページにて「Nucleotide」を選択



調べたい生物の学名とタンパク質名を入力



目標とするものの見出しを選択し、FASTAを押す



(Fig.2 塩基配列を音に変換するプログラム) (Fig.3 塩基配列と音の対応表)

DNA → 音階ソニフィケーション（方式2×12音）

DNA 配列（A/C/G/T）を入力してください：

CTGGGAGATATACCACTAAACCTACCCCTGTATGACTAGGAAGTGAAGAAACAGAAAGGACCACAGA GAGTCTACATGTC

波形： sawtooth ▼ BPM： 120 拍子： 4/4 ▼ 読み枠： 0 ▼

再生 停止 コドン→音階プレビュー 楽譜を生成 (MusicXML)

ログ

- 1: CTG → A5
- 2: GGA → F#3
- 3: GAT → C#6
- 4: ATA → A3
- 5: CCA → D#3
- 6: CTA → A3
- 7: AAC → C#4
- 8: CTA → A3
- 9: CCC → D#4

コドンの配 置	音階	コドンの配 置	音階	コドンの配 置	音階	コドンの配 置	音階
TTT	A6	CTT	A6	ATT	A6	GTT	A6
TTC	A4	CTC	A4	ATC	A4	GTC	A4
TTA	A3	CTA	A3	ATA	A3	GTA	A3
TTG	A5	CTG	A5	ATG	REST	GTG	A5
TCT	E6	CCT	C6	ACT	E6	GCT	D#6
TCC	E4	CCC	C4	ACC	E4	GCC	D#4
TCA	E3	CCA	C3	ACA	E3	GCA	D#3
TCG	E5	CCG	C5	ACG	E5	GCG	D#5
TAT	C6	CAT	B6	AAT	C#6	GAT	C#6
TAC	C4	CAC	B4	AAC	C#4	GAC	C#4
TGT	F#6	CAA	A#3	AAA	D3	GAA	C#3
TGC	F#4	CAG	A#5	AAG	D5	GAG	C#5
TGG	F#5	CGT	A6	AGT	G6	GGT	F#6
		CGC	A4	AGC	G4	GGC	F#4
		CGA	A3	AGA	G#3	GGA	F#3
		CGG	A5	AGG	G#5	GGG	F#5

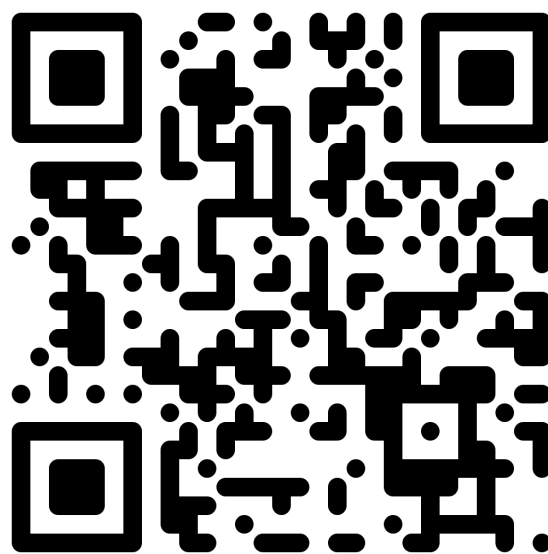
【結果】

- ① 作成したプログラムを用いて、アフリカツメガエルのコラーゲンについて、楽譜を作成した (Fig. 4)。
- ② 楽譜から、音源を作成した (Fig. 5)。QR から実際の音源データを確認できる。

(Fig. 4 音を音符にして楽譜を作成するもので作った楽譜)



(Fig. 5 楽譜の音源)



【今後の展望】

今回楽譜を作成したピパ科アフリカツメガエル (学名: *Xenopus tropicalis*) の皮膚を基準とし、毒性、皮膚の色を以下に示す他のカエルと比べる。

- ① より毒性の強いカエルとして、ヤドクガエル科モウドクフキヤガエル (学名: *Phyllobates terribilis*) の塩基配列を使用する。モウドクフキヤガエルは、個体1匹で大人10人を死に至らしめるのに十分だとされる程のアルカロイド系の強毒を持つ。
- ② 色彩毒を持つカエルとして、ヤドクガエル科アイゾメヤドクガエル (*Dendrobates tinctorius*) の塩基配列 (*Dendrobates tinctorius* COL) を使用す

る。体表に美しいカラーパターンがあり、赤、青、白など、非常に多彩であり、アルカロイド系の毒をもつ。

③ アフリカツメガエルとモウドクフキヤガエルの中間の毒性をもつヤドクガエル科イミテーターガエル（学名：*Ranitomeya imitator*）の塩基配列（*Ranitomeya imitator* COL）を使用する。黒の水玉を持つことが特徴的である。

④ 身近なカエルの代表例として、アマガエル科アマガエル（*Dryophytes japonicus*）の塩基配列を使用する。

以上のカエルに加えて、皮膚にコラーゲンを持たないカエルとも比べる。また、音の対応表をさらに複雑にして、音楽性を持たせようと思う。

【参考】

以下に参考文献を示す。

<https://amphibian.hiroshima-u.ac.jp/~miura/music.html>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>

【備考】

下記に使用したプログラム(Fig. 2)のコードを公開する。コードはVScodeを用いて作成した。

```
<!DOCTYPE html>
<html lang="ja">
<head>
<meta charset="UTF-8">
<title>DNAソニフィケーション（方式2×12音）</title>
<style>
```

```

body { font-family: system-ui, -apple-system, "Hiragino Kaku Gothic
ProN", "メイリオ", sans-serif; padding:20px; }
input[type="text"], textarea { font-family: monospace; }
#log { white-space: pre-wrap; border:1px solid #ddd; padding:8px;
height:180px; overflow:auto; background:#fafafa; }
.controls { margin:8px 0; }
button { margin-right:8px; }
label { margin-right:8px; }
</style>
</head>
<body>
<h3>DNA → 音階ソニフィケーション (方式2×12音) </h3>
<p>DNA 配列 (A/C/G/T) を入力してください : </p>
<input type="text" id="dnaSeq" style="width:80%;"
placeholder="ATGGCC...">
<div class="controls">
<label>波形 :
<select id="waveform">
  <option value="sine">sine</option>
  <option value="square">square</option>
  <option value="sawtooth">sawtooth</option>
  <option value="triangle">triangle</option>
</select>
</label>
<label>BPM :
<input type="number" id="bpm" value="120" style="width:70px"></label>
<label>拍子 :
<select id="timeSig">
  <option value="4/4">4/4</option>
  <option value="3/4">3/4</option>
  <option value="6/8">6/8</option>
</select>
</label>
<label>読み枠 :
<select id="frame">
  <option value="0">0</option>

```

```

    <option value="1">+1</option>
    <option value="2">+2</option>
</select>
</label>
</div>
<div style="margin-top:10px;">
<button id="playBtn">再生</button>
<button id="stopBtn">停止</button>
<button id="previewBtn">コードン→音階プレビュー</button>
<button id="exportXmlBtn">楽譜を生成 (MusicXML) </button>
</div>
<h4>ログ</h4>
<div id="log"></div>
<script>
// --- コドン → アミノ酸 (DNA版) ---
const codonToAA = {
  "TTT":"F", "TTC":"F", "TTA":"L", "TTG":"L",
  "TCT":"S", "TCC":"S", "TCA":"S", "TCG":"S",
  "TAT":"Y", "TAC":"Y", "TAA":"STOP", "TAG":"STOP",
  "TGT":"C", "TGC":"C", "TGA":"STOP", "TGG":"W",
  "CTT":"L", "CTC":"L", "CTA":"L", "CTG":"L",
  "CCT":"P", "CCC":"P", "CCA":"P", "CCG":"P",
  "CAT":"H", "CAC":"H", "CAA":"Q", "CAG":"Q",
  "CGT":"R", "CGC":"R", "CGA":"R", "CGG":"R",
  "ATT":"I", "ATC":"I", "ATA":"I", "ATG":"M",
  "ACT":"S", "ACC":"S", "ACA":"S", "ACG":"S",
  "AAT":"N", "AAC":"N", "AAA":"K", "AAG":"K",
  "AGT":"S", "AGC":"S", "AGA":"R", "AGG":"R",
  "GTT":"V", "GTC":"V", "GTA":"V", "GTG":"V",
  "GCT":"A", "GCC":"A", "GCA":"A", "GCG":"A",
  "GAT":"D", "GAC":"D", "GAA":"E", "GAG":"E",
  "GGT":"G", "GGC":"G", "GGA":"G", "GGG":"G"
};
// アミノ酸 → 分類
const aaClass = {
  A:"hydrophobic", V:"hydrophobic", L:"hydrophobic", I:"hydrophobic",

```

```

M:"hydrophobic", F:"hydrophobic", W:"hydrophobic", Y:"hydrophobic",
S:"polar", T:"polar", N:"polar", Q:"polar",
K:"basic", R:"basic", H:"basic",
D:"acidic", E:"acidic",
C:"special", P:"special", G:"special"
};
// 2文字目 → 12音 (3音ずつ)
const secondBaseTo12Notes = {
  "A": ["C", "C#", "D"],
  "C": ["D#", "E", "F"],
  "G": ["F#", "G", "G#"],
  "T": ["A", "A#", "B"]
};
// 3文字目 → オクターブ
const thirdBaseToOct = {
  "A": 3,
  "C": 4,
  "G": 5,
  "T": 6
};
// 分類 → 3音のどれを選ぶか (0, 1, 2)
const classIndex = {
  hydrophobic: 0,
  polar: 1,
  basic: 2,
  acidic: 1,
  special: 0
};
// note → 周波数
const noteFreq = {
  "C3":130.81, "C#3":138.59, "D3":146.83, "D#3":155.56, "E3":164.81, "F3":174
.61, "F#3":185.00,
  "G3":196.00, "G#3":207.65, "A3":220.00, "A#3":233.08, "B3":246.94,
  "C4":261.63, "C#4":277.18, "D4":293.66, "D#4":311.13, "E4":329.63, "F4":349
.23, "F#4":369.99,

```

```

    "G4":392.00, "G#4":415.30, "A4":440.00, "A#4":466.16, "B4":493.88,
    "C5":523.25, "C#5":554.37, "D5":587.33, "D#5":622.25, "E5":659.25, "F5":698
    .46, "F#5":739.99,
    "G5":783.99, "G#5":830.61, "A5":880.00, "A#5":932.33, "B5":987.77,
    "C6":1046.50, "C#6":1108.73, "D6":1174.66, "D#6":1244.51, "E6":1318.51, "F6
    ":1396.91, "F#6":1479.98,
    "G6":1567.98, "G#6":1661.22, "A6":1760.00, "A#6":1864.66, "B6":1975.53
  };
  let audioCtx = null;
  let isPlaying = false;
  let playTimer = null;
  function sanitizeDNA(s) {
    return s.replace(/[^ACGT]/gi, "").toUpperCase();
  }
  // コドン → 音階 (方式2×12音)
  function codonToNote(codon) {
    const aa = codonToAA[codon];
    if(!aa || aa === "STOP") return "REST";
    const cls = aaClass[aa];
    const b2 = codon[1];
    const b3 = codon[2];
    const notes = secondBaseTo12Notes[b2];
    if(!notes) return "REST";
    const idx = classIndex[cls];
    const noteName = notes[idx ?? 0];
    const oct = thirdBaseToOct[b3];
    if(!noteName || !oct) return "REST";
    return noteName + oct;
  }
  // 再生
  function playToneAtTime(freq, startTime, duration, waveform) {
    if(!audioCtx) return;
    const osc = audioCtx.createOscillator();
    const gain = audioCtx.createGain();
    osc.type = waveform;
    osc.frequency.value = freq;

```

```

osc.connect(gain);
gain.connect(audioCtx.destination);
gain.gain.setValueAtTime(0.25, startTime);
gain.gain.linearRampToValueAtTime(0.2, startTime + duration);
osc.start(startTime);
osc.stop(startTime + duration + 0.02);
}
function startPlayback() {
  if(isPlaying) return;
  const dna = sanitizeDNA(document.getElementById("dnaSeq").value);
  const bpm = Number(document.getElementById("bpm").value) || 120;
  const waveform = document.getElementById("waveform").value;
  const frame = Number(document.getElementById("frame").value) || 0;
  const logEl = document.getElementById("log");
  logEl.textContent = "";

  if(dna.length - frame < 3) {
    logEl.textContent = "コドンが足りません。";
    return;
  }
  audioCtx = new (window.AudioContext || window.webkitAudioContext)();
  isPlaying = true;

  const beatSec = 60 / bpm;
  const noteDur = beatSec * 0.9;
  let t0 = audioCtx.currentTime + 0.1;
  const codons = [];
  for(let i=frame;i+3<=dna.length;i+=3) {
    codons.push(dna.substring(i, i+3));
  }
  codons.forEach((codon, idx)=>{
    const note = codonToNote(codon);
    if(note === "REST") {
      logEl.textContent += `${idx+1}: ${codon} → REST\n`;
      return;
    }
  })
}

```

```

    const freq = noteFreq[note];
    if(!freq) {
        logEl.textContent += `${idx+1}: ${codon} → ${note} (周波数未定
義) ¥n`;
        return;
    }
    playToneAtTime(freq, t0 + idx*beatSec, noteDur, waveform);
    logEl.textContent += `${idx+1}: ${codon} → ${note}¥n`;
  });
  const totalTime = codons.length * beatSec + 0.5;
  playTimer = setTimeout(()=>{ isPlaying = false; }, totalTime*1000);
}
function stopPlayback() {
  if(!isPlaying) return;
  if(audioCtx && audioCtx.state !== "closed") {
    audioCtx.close();
    audioCtx = null;
  }
  if(playTimer) { clearTimeout(playTimer); playTimer = null; }
  isPlaying = false;
  document.getElementById("log").textContent += "再生を停止しました。
¥n";
}

// MusicXML 用: noteName → step/alter/octave
function parseNoteName(noteName) {
  const m = noteName.match(/^(([A-G]) (#?) (¥d) $/);
  if(!m) return null;
  return { step:m[1], alter:m[2]==="#"?1:0, octave:parseInt(m[3],10)
};
}
function parseTimeSig(ts) {
  const p = ts.split("/");
  return { beats:Number(p[0]), beatType:Number(p[1]) };
}
function exportMusicXML() {

```

```

const dna = sanitizeDNA(document.getElementById("dnaSeq").value);
const frame = Number(document.getElementById("frame").value) || 0;
const bpm = Number(document.getElementById("bpm").value) || 120;
const timeSigStr = document.getElementById("timeSig").value ||
"4/4";
const logEl = document.getElementById("log");
if(dna.length - frame < 3) {
  logEl.textContent = "コドンが足りません (MusicXML) 。 ";
  return;
}
const codons = [];
for(let i=frame;i+3<=dna.length;i+=3) {
  codons.push(dna.substring(i,i+3));
}
const divisions = 480;
const timeSig = parseTimeSig(timeSigStr);
const quarterPerMeasure = timeSig.beats;
const measureCapacity = quarterPerMeasure;
const noteSeq = codons.map(codon=>{
  const note = codonToNote(codon);
  if(note === "REST") {
    return { isRest:true, durationDivisions:divisions };
  }
  const parsed = parseNoteName(note);
  if(!parsed) {
    return { isRest:true, durationDivisions:divisions };
  }
  return {
    isRest:false,
    step:parsed.step,
    alter:parsed.alter,
    octave:parsed.octave,
    durationDivisions:divisions
  };
});
let xml = `<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>¥n`;

```

```

    xml += `<score-partwise version="3.1">¥n  <part-list>¥n
<score-part
id="P1"><part-name>DNASonification</part-name></score-part>¥n
</part-list>¥n  <part id="P1">¥n`;
    let measureIndex = 1;
    for(let i=0;i<noteSeq.length;){
        xml += `      <measure number="{measureIndex}">¥n`;
        if(measureIndex === 1){
            xml += `      <attributes>¥n
<divisions>${divisions}</divisions>¥n          <key>¥n
<fifths>0</fifths>¥n          </key>¥n          <time>¥n
<beats>${timeSig.beats}</beats>¥n
<beat-type>${timeSig.beatType}</beat-type>¥n          </time>¥n
<clef>¥n          <sign>G</sign>¥n          <line>2</line>¥n
</clef>¥n          </attributes>¥n          <direction placement="above">¥n
<direction-type>¥n          <metronome>¥n
<beat-unit>quarter</beat-unit>¥n
<per-minute>${bpm}</per-minute>¥n          </metronome>¥n
</direction-type>¥n          </direction>¥n`;
        }
        let filled = 0;
        while(filled < measureCapacity && i < noteSeq.length){
            const n = noteSeq[i];
            if(n.isRest){
                xml += `      <note>¥n          <rest/>¥n
<duration>${n.durationDivisions}</duration>¥n
<type>quarter</type>¥n          </note>¥n`;
            } else {
                xml += `      <note>¥n          <pitch>¥n
<step>${n.step}</step>¥n`;
                if(n.alter && n.alter!==(0)) xml += `
<alter>${n.alter}</alter>¥n`;
                xml += `          <octave>${n.octave}</octave>¥n
</pitch>¥n          <duration>${n.durationDivisions}</duration>¥n
<type>quarter</type>¥n          </note>¥n`;
            }
        }
    }

```

```

        filled++; i++;
    }
    xml += `    </measure>¥n`;
    measureIndex++;
}
xml += ` </part>¥n</score-partwise>¥n`;
const blob = new Blob([xml], { type:"application/xml" });
const url = URL.createObjectURL(blob);
const a = document.createElement("a");
a.href = url;
a.download = `dna_sonification_${Date.now()}.musicxml`;
document.body.appendChild(a);
a.click();
a.remove();
URL.revokeObjectURL(url);
}
// プレビュー
function previewCodons() {
    const dna = sanitizeDNA(document.getElementById("dnaSeq").value);
    const frame = Number(document.getElementById("frame").value) || 0;
    const logEl = document.getElementById("log");
    logEl.textContent = "";
    if(dna.length - frame < 3) {
        logEl.textContent = "コドンが足りません。";
        return;
    }
    let idx = 1;
    for(let i=frame;i+3<=dna.length;i+=3) {
        const codon = dna.substring(i,i+3);
        const aa = codonToAA[codon] || "??";
        const note = codonToNote(codon);
        logEl.textContent += `${idx}: ${codon} → ${aa} → ${note}¥n`;
        idx++;
    }
}
// イベント

```

```
document.getElementById("playBtn").addEventListener("click",
startPlayback);
document.getElementById("stopBtn").addEventListener("click",
stopPlayback);
document.getElementById("previewBtn").addEventListener("click",
previewCodons);
document.getElementById("exportXmlBtn").addEventListener("click",
exportMusicXML);
</script>
</body>
</html>
```

中間報告書 土にかえりたい班

研究テーマ

< コンポスト堆肥による食品ロスを目指す >

①研究動機

近年、世界規模で、たびたび挙げられている問題の一つに食品ロスがある。世界ではなんと年間約13億トンの食品が廃棄されているとのこと。また、われわれは食品を捨てることで発生する温室効果ガスにより、異常気象を招いたり、生態系への大きな影響を及ぼしたり、と食品ロスによる環境への影響はすさまじいということを知った。

そこで、我々は思った。食品ロスを解決できたら、地球環境をよりよくできるのではないかと。

地球環境の保全ひいては我々の子孫、愛するわが地球の平和をめざすべく、食品ロスの一環として、廃棄食品を用いたコンポスト堆肥の有効活用を研究していく。

②コンポストとは？

生ごみや落ち葉などの有機物を、微生物の力で発酵・分解させて堆肥を作るプロセス、またはそのための容器。

コンポスト堆肥は、コンポストによってつくられた堆肥のことを指す。

③実験目的

異なる投入物で作成した堆肥の影響を植物を用いて比較
(茎の本数や実の直径、成長速度)

④実験内容

- 1 二つの横長のプランターを用意し、片方をプランターA、もう一方をプランターBとする。
- 2 プランターA、Bどちらにも無肥料の土(園芸の基本用土赤玉

土7:腐葉土3)を5L入れる。

3 各横長のプランターの中央を境にして、プランターAには廃棄食品と米ぬか(100ml)を、プランターBには廃棄食品(100ml)とコーヒーかす(50ml)を右、左の土の中に一日おきに交互に入れる。

4 水をまんべんなく入れる。

これを、5月1日から毎日継続中。

5 植木鉢3つを2セット用意し、土を同量いれ、植木鉢3つずつにラディッシュの種、ベビーリーフの種を2つずついれて1週間、条件を変えずに育てる。

※これより下は、ラディッシュの種を入れた3つの植木鉢を植木鉢A、B、Cとし、ベビーリーフの種を入れた3つの植木鉢をA'、B'、C'とする。

6 1週間後に、

植木鉢A、A'に、プランターAで作成したコンポスト堆肥を

植木鉢B、B'に、プランターBで作成したコンポスト堆肥をいれ

植木鉢C、C'には、堆肥を与えずに育てる。

さらに一週間経った後に、各3つの植木鉢間での芽の長さをもとに成長スピードを比較する。

⑤実験結果

測定時枯れてしまっていたので

ベビーリーフの測定は不可

麦芽カスの入手が企業様のご都合により2週間ほど遅れてしまいました。それに伴って麦芽カスを用いた実験が不可能となってしまう 正確な実験を行うことができませんでした。ですが、米ぬかのみ、コーヒーと米ぬか、土のみを用いた実験は以下の結果となりました (葉の枚数は1本の茎から出ている葉を1枚とする)

比較対照	投入物	米ぬか	米ぬか+コーヒーかす	土
葉の系統の長さ		11.0cm	11.4cm	10.7cm
葉の枚数		8枚	8枚	9枚
実の直径		1.4cm	0.6cm	1.8cm
根の長さ		8.9cm	9.5cm	9.5cm

結果から、コンポスト堆肥を用いても、コンポスト堆肥の植物の成長への影響はあまり見られなかった。

⑥今後の展望

現段階では、同じ期間熟成させたコンポストの比較のみしか行えていないため、これからはコンポストの熟成期間の違いによる植物の変化や場所による堆肥の効果などにより細かな条件下の違いをもとにより効果的なコンポスト堆肥の条件を探っていきたい。

⑦協力してくださった企業

ヘルシーキッチンスマイリー(廃棄食品)

ポプラ(コーヒーかす)

理数探究中間報告

(概略版)

403班

0. 前提

概略版は理解をやすくするために専門用語や厳密な説明を欠いている。簡略化するために本来必要な説明や正しい論理が抜けている場合があるので厳密な情報は完全版を参照のこと。

1. 背景

世の中の生物は多様であり各々に独特な特徴が存在している。これらが持つ特徴によって取る行動や周りに与える影響が変化していく。例えば、ライオンのような肉食に特化した体の生物は周りの生物を捕食することで数を減らし、シマウマのような草食動物は、ほかの生物は襲わないが自身の模様を活かして群れることで自衛するという固有の特徴を持つ。

これは、例えば自衛できる模様を持つシマウマが生き残り、模様がなく守る術のないシマウマは自然と食われていなくなった結果シマウマは皆縞模様を持つようになった、という風に進化していく中でより環境に適応した個体が自然に生き残った結果現れた物であり、第三者から与えられたようなものではない。

私たちはこのような進化と淘汰、という過程をコンピュータ上のシミュレータで再現し観測することを目的とする。

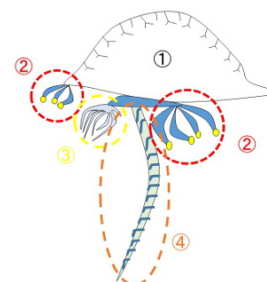
2. 指針

私たちはこの目的を達成するためにカツオノエボシという生き物に着目した。

カツオノエボシは「群体」という特徴を持つ。群体とは、採食、遊泳、生殖など何かに特化した機能をもった小さな個体が複数つなぎ合わさることで、まるで一つの生物のように動く、というものである。

今回は生き物の特徴の分化を再現するにあたって、カツオノエボシのような複数の小さい個体とそれらが結合する仕組みを作ることによって複雑な特徴を持った生物（今回の場合は群体）を形作る仕組みを作る。

図1¹



¹ 出典：新江ノ島水族館公式HP (<https://www.enosui.jp/>)

3. 要件

上の検討を踏まえてシミュレータが満たすべき要件についてまとめると、大まかに以下の四点にまとめられる。

1. 複数体のエージェント²で構成されること

今回は特徴を持った生物がほかの生物や環境にどう影響を与えるか、という部分を観測したいので、エージェントが複数いることが要求される。

2. 各エージェントの特徴が多様であること

群体は小さなエージェントの集合でできるので、その群体が複雑で多様な特徴を持つためにはその部品であるエージェントが多様でなければならない。

ただしカツオノエボシにおいての小さな生物が、生殖や遊泳などシンプルな特徴を持つように、多様であれど、複雑である必要性はない。

3. エージェントが群体を生成すること

具体的に言うならば情報的、そして物理的に結合しているということである。

情報的な結合というのは、周りに何があるか、どのような状況かなどの感覚器官で手に入れた情報を結合しているエージェント同士で渡し合う、ということである。

物理的な結合というのは、その名の通り物理的につながっており互いの距離に制約があったり、お互いに引っ張りあったりし得るということである。

4. 淘汰と適応を十分に再現しているということ

最初のシマウマの例のように、環境に適応した個体のみが生き残るというプロセスを再現するため、生物の変異と淘汰という仕組みをシミュレータに組み込む必要がある。

² シミュレータ上で動く生物、個体のこと。今回においてエージェントは群れを成して群体を作る小さな各生物のことを指す。

4. 設計

以上の要件から具体的なシミュレータの設計を決めていく。各項について、まずはじめに概要を示し、その後に概要の記述を中心に重要事項に触れる。

1. 前提

概要：

シミュレータ内には、「エージェント」と、環境に配置または生成される「リソース」の2つの主要なオブジェクトが存在する。各エージェントは「エネルギー」というパラメータを保持しており、あらゆる行動にエネルギーを消費し、エネルギー値が0になれば消滅する。

説明：

リソースとはエージェントと別種のオブジェクトで、イメージとしてはそのあたりに落ちている餌であり、自発的に行動せず、特にパラメータを持たない。各エージェントに割り当てられたエネルギー値を回復させる機能を持つ。動くとエネルギーが減るというのはおなかが減ることであり、エネルギーが0になると消滅するというのは餓死である、とイメージできる。

2. エージェントの意思決定と行動

概要：

各エージェントはCPPN（以下意思決定エンジン）という仕組みが組み込まれ、これによって行動を決定する。

意思決定エンジンには、エージェントが手に入れる情報、例えば現在時刻や位置、センサーから得られる情報（ほかのエージェントやリソースの位置など）がすべて入力され、それによってどの行動をどの程度の強度で行うかが決定される。

説明：

意思決定エンジンはおおよそ「入力、つまり情報を受け取った時、そこから出力される行動やその強度がより複雑になり、加えて周期的なパターンを生むシステム」というものである。

この周期的なパターンというものが生物ごとの役割や特徴を表現するうえで適当と考えたため今回採用するに至った。

また今回は意思決定エンジンによって決められた行動の出力をそのまま行動に起こすのではなく、行動を決定する「蓄積値」を増減させることで最終的な行動を決定する仕組みとした。これは瞬間的な状況変化やノイズによって惑わされることを抑えるためである。

最終的な意思決定エンジンの完全な説明は概略ではもはや不可能なため、詳細は完全版を参照のこと。

続いてエージェントがとりうる行動の種類を定義する。エージェントがとりうる行動は「推進」「踏み締め」「結合」「エネルギー送り出し」「センサー調整」「繁殖」の6つである。

- 推進はエージェントが自身の位置を力を加えて変化させる。要は移動のこと。
- 踏み締めは推進行動や外力などで発生する力ベクトルに対する抵抗が増加して動きにくくなる。イメージとしては摩擦によって進まなかったり、重いものに弱い力を加えても微動だにしないような状況である。
- 結合は、他のエージェントとの物理的・情報的な接続状態を形成する。
- エネルギー送り出しは、エージェントが結合された他のエージェントに対してエネルギー値を送り出す。
- センサー調整は、エージェントが備えるセンサーの検出範囲などを増減させる。強くセンサーを稼働させることで消費するエネルギー量も増える。
- 繁殖は、一定のエネルギーを消費して、自身から部分的に変化したエージェントを自身と結合した状態で作り出す。

3. エージェントの結合と群体形成

概要：

エージェントは特定の条件を満たすことで結合する。一体のエージェントに対して、複数のエージェントが結合可能であり、結合を行っていくことで群体が発生し大きな一つの生物のように動く。結合したエージェントは物理的につながるとともに、情報やエネルギーを送りあう。ただしこの情報やエネルギーの伝搬は完全な形では行われず、何かしらの欠損が発生する。

説明：

エージェント間の結合は、「エージェント間の距離の逆数³ * 一方の結合強度 * もう一方の結合強度」の値がある特定の値を超えたときに互いに結合するという形で行われる。つまり、距離が近いほど結合は起きやすく、どちらかの強度が大きくても、もう片方が非常に小さければ結合は成立しない。

また結合したエージェントは物理的につながっているがあくまで別々の意思決定エンジンを持つので各々が動き、群体としての動きは各エージェントが引っ張りあう、踏み締めをする結果生まれる挙動となる。その結果として群体は一番力が安定するある一方向に移動する。

エネルギーの受け渡しについて、この行動は意思決定エンジンによって決定されるが受け渡しを行うということはほかのエージェントと結合している、つまり相手のエージェントから受け取った情報が意思決定エンジンの入力として使われるので、「エネルギーを多く送り出すように仕向ける」「大きな群体を維持するために、エネルギーを得やすいエージェントがそうでないエージェントを支援する」といった状況が発生する可能性を用意する。

ただし、このような設計によって結合をすればするほど得、という仕組みに作ってしまうと群体がただただ肥大化するということが起こってしまう。

群体が大きくなれば当然空間的にも大きくなるので伝達はより欠損を持つようになる。これにより過度に大きな群体にはエラーが起きやすくなり、自然と群体の大きさも最適化された形へと向かうと予想される。

4. 自然選択⁴

概要：

シミュレーション空間にエージェントを配置し、リソースが何か特定のルールによって場に散布されるよう設定する。シミュレータの設計が適切であれば、その後放置することでエージェントが活動し、繁殖と変異の積み重ねによって環境に適応しない個体は徐々に淘汰され、適応が進んでいく。

³ 各エージェントが持つ、いわば「結合のしたさ」のパラメータ

⁴ 環境に適応した個体のみが生き残り集団全体が環境に適応していくこと

説明：

自然選択、というものをシミュレータで再現するにあたって「繁殖」「死」「変異」が必要な要素となる。

繁殖は行動の一種と定義したため、意思決定エンジンによって繁殖を行うかは決定される。この繁殖と同時に変異も発生する。繁殖によって増えたエージェントは、繁殖元と比べ意思決定エンジンの内部構造を一部引き継ぎ、一部変化した形で誕生する。

繁殖後のエージェントが結合した状態で生まれてくるのは、それにより「生まれてきた群体にとどまるか離れるか」という選択が生まれ、中長期的にみると、群体が他の新たな個々のエージェントとつながるのではなく自発的に大きくなることとなり、エージェントではなく群体としての競争を観測し得るからである。

またエージェントの意思決定エンジンに対して外部から優劣を評価する必要はない。なぜなら死という概念がある以上生き残った個体が必然的に優れているからであり、仮にエネルギー値などで優劣を評価しようとしたとしても、常に低いエネルギー値で生き残る、などといった挙動を取る群体やエージェントが生まれたとき、生き残っているのに評価値が低いということが起こってしまい生死以外の概念は一概に優劣を評価できないからである。

5. 今後の方針

以上、「進化と文化による役割の分化の観察」というテーマに対し、そのために私たちが設計し、これから作成するシミュレーションモデルについて、その前提となる考え方を含めて説明した。

今後は、このシミュレータを実際に作成し、実行し、その結果を分析することで、このシミュレータが進化的分業についてどのような特性を持つのかを考察していく。

理数探究中間報告

403班

1. 背景

どのような気候・地形に分布するものであれ、生態系を構成する各生物種はそれぞれに独特の身体的な機能や特徴を備え、それらの種は生態系というひとつの系において、他の種に対してどのような影響を与えうるかという意味で「役割」を持つ。

例えば、食物連鎖が「生産者」「消費者」「分解者」という三者を循環するサイクルとして見て取れるように、各役割を担う種の相互作用が生態系を特徴づける。これらの役割は、俯瞰的に「与えられた」ものではなく、種同士が生存と繁栄という至上目的に対して何世代にも渡る淘汰と適応を繰り返した結果と言える。

私たちはこのような進化による役割の分化、独自に言い換えれば「進化的分業の発生」が発生する、コンピュータ上で動作する仮想的な生態系シミュレータを作成する。

本報告書では、現段階で確定したシミュレータの設計について述べる。

2. 指針

進化的分業は様々な生態系に見られ、「どのような役割が存在するか」「それぞれの役割にはどのような種が相当するか」「それぞれの役割はどのように関わるか」など、そのあり方もまた多様である。シミュレーションとしてこれをモデル化するにあたり、特に重要なのは種の機能の分化、つまり各個体の特性をどのように表現するかという点で、これが十分に効果的なものでなければ、目的の達成は見込めない。

私たちは、カツオノエボシなどのクダクラゲ目のクラゲに見られるような「群体」という特徴に注目した。カツオノエボシは遊泳・生殖・採餌などの各機能に特化した複数の個体（ヒドロ虫）が集まった構造になっている[1]（図1）。

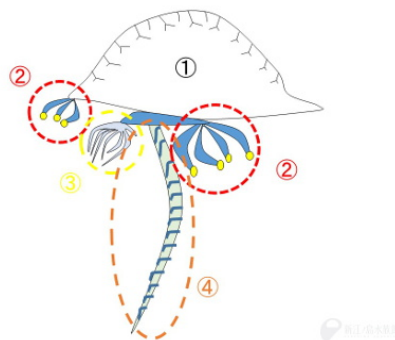


図1⁵

⁵ 出典：新江ノ島水族館公式HP (<https://www.enosui.com/diaryentry.php?eid=04563>)

この事例から発想すれば、それぞれが異なる機能を持つ複数の個体を用意し、それらを動的に結合させる仕組みを構築することで、総体として固定されたワンパターンを遥かに上回る豊かな特徴を持った群体が生じると考えられる。

このアイデアの特に有利な点として、群体の構造が動的に変化することで、より環境に鋭敏に反応することが見込まれるというものがある。背景の項で述べた通り、進化的分業は長い時間をかけた淘汰と適応の連続によって生じるため、豊富な機能を持ち形態が比較的安定する傾向が予想される大きな個体よりも、流動的な群体のほうがそれらが発生しやすいと推測できる。また、動的な結合は非常に多くの構造パターンを生成しうるので、例えば個体の機能が単純なものだったとしても、その組み合わせと配置によって想定以上に複雑で興味深い群体が発生することも期待できる。

付け加えて、シミュレーションの分析においてもこの群体という形は都合がよい。個々が（大きな個体に比して）単純で、かつ互いに独立しているため、全体を俯瞰しやすくなる。

以降はこの指針をもとに具体的な設計の話題に移る。

3. 要件

上の検討を踏まえ、進化的分業の発生を観察するためにシミュレータが満たすべき要件について考えると、大まかに以下の4点としてまとめられる。

1. 複数体のエージェント⁶によって構成されること

前提として、「複数の個体による相互作用」を扱う以上、シミュレーション内に「複数のエージェントが存在すること」が要求される。これらをどのように機能させるかが、そのままシミュレータの性質を決定する。

2. エージェントの機能が動的かつ適応的に変化すること

群体の機能は個体、つまり個々のエージェントの機能の総和（に相互作用の影響を加えたもの）だから、複雑で多様な群体の発生にはまずエージェントが多様でなければならない。

⁶ エージェントとは、「エージェントベースモデリング（ABM）」というシミュレーションモデルを扱う文脈で用いられる言葉で、「自律的に行動する主体」と定義される。ここでは、先の検討でいうところの生物の一個体に一体のエージェントが相当し、以降もこれらをエージェントと呼称する。英単語の「Agent」は「代行人」「仲介者」などを意味する。

ここではエージェントの機能を、動的（様々な形に変化する）で、かつ適応的（周囲の環境に対応して変化する）であるべきだと定義する。これを満たしていれば、先述した通り、エージェント単体の機能そのものは必ずしも複雑である必要はない。つまり、単独では小さく単純な行動しか取らないとしても、それが群を成して連携すれば十分に複雑な結果は見込めるし、むしろ中途半端に（軽薄に見境なく）個体の機能を増やして高度化することは、却ってシミュレーションに無用な恣意性をもたらす。

3. エージェントが群体を形成すること

前述した通り、エージェントは結合して群体を形成する。重要な点はこの「結合」は情報の側面と物理的側面を併せ持っている必要がある、というところにある。

情報的側面とは、群体を構成する各エージェントが情報を共有し、それを通じて互いに連動することを指す。適切に結合して情報の伝達ネットワークを構築することができれば、群体は高度に連携してより複雑に機能する。

一方、物理的側面、ないし空間的側面は単純に「くっついている」ということである。複数のヒドロ虫がくっついて一体のクダクラゲ個体を形成しているように、結合したエージェントも空間的な近接状態を維持する。

単にエージェント同士が連動して動くだけなら前者の情報的結合だけでも事足りるが、空間的に拘束しなければ、それは群体というよりは少し協調して動くだけの集団程度に留まる公算が大きい。多くの構造パターンとそこから生じる機能を発生させるためには物理的結合も必要になってくる。

4. 自然選択を十分に表現していること

自然選択とは、積み重なった形質の変異によって個体が分化し、環境に適応できる個体のみが生き残って他は淘汰される、という一連の流れを指す。進化的分業の発生に関係するであろう性質の一つであり、変異と淘汰圧の実装で十分に表現できる。

適応した個体が生き残り、そうでない個体は消え去るという構造によって、エージェントの機能的変化に「有利・不利」という非対称な価値基準が生じる。私たちは、進化的分業がこれらの選択プロセスによって発生する、より細かく言えば、微妙に異なる条件（周りのエージェントやリソースの分布など）下で、十分に豊富な形態に分化しうるエージェントの異なるアプローチによる最適化が進むことで生じると考えている。

4. 設計

上で示した要件をもとに、作成するシミュレータの設計について詳細に説明していく。各項について、まずはじめに概要を示し、その後に概要の記述を中心に重要事項に触れる。

1. 前提

概要：

本シミュレータは連続的な時間および2次元の連続空間として定義される。

シミュレーション内には、「エージェント」と、環境に配置または生成される「リソース」の2つのオブジェクトが存在する。各エージェントは内部状態として「エネルギー」を保持しており、エネルギーの消費によって動き、エネルギー値が0になれば消滅する。

説明：

連続的な時間と空間とは、将棋や碁のように手番があったり、将棋盤や碁盤のようにマス目で区切られていない、ということの意味する。

また、リソースとはエージェントと別種のオブジェクトで、内部的には自身の位置座標のみを持つ。各エージェントに割り当てられたエネルギー値を回復させる機能を持ち、「餌」に相当する。人間が体を動かせば腹が減り（＝エネルギーが減る）、あまりにも食べなければ餓死する（＝エネルギー値が0で消滅）のと同じようにイメージできる。

2. エージェントの意思決定と行動

概要：

エージェントの一個体には意思決定を行うためのCPPN（以下意思決定エンジン）が組み込まれ、それがエージェントの挙動を決定する。

意思決定エンジンにはエージェントが入手する情報、例えば現在時刻や位置、その他あらゆるセンサー（感覚器官）の取得値がすべて入力され、得られた出力は各種行動⁷の強度を決定する。エージェントが取りうる行動は完全に独立して並列での実行が可能であり、かつそれ単体では複雑な結果をもたらさない単純なものであることが定義の目安となる。

⁷ ここでの「行動」は、環境に対してエージェントが実行する最小単位の操作（Action）を意味する言葉として定義し、以降用いる。

説明：

CPPN (Compositional Pattern Producing Network) [2]とは、いわゆるニューラルネットワーク (Neural Network, NN) の一種⁸であり、通常のNN、特に単純な多層パーセプトロン (Multilayer Perceptron, MLP) と比較して、入力に対して複雑なパターンを出力として返すことができるのが最大の特徴である。

以降、CPPNとそれを用いたエージェントの意思決定エンジンについて説明していくが、それに際して、最も基本的なNNの形態である順伝播型の多層パーセプトロンについて理解していることを前提とする。具体的には、パーセプトロンモデルの仕組みと、それによって順伝播ネットワークを構築することの効果について理解しているものとして話を進める。

CPPNはNNの一種であるが、その実、客観的にはMLPとほとんど差異がない。最も明らかな違いは各ノード（ニューロン）の活性化関数にある。学習を目的としたNNには、ネットワークごとに一種類、「ヘビサイドの階段関数」や「シグモイド関数」、「ReLU」などから目的に応じた関数が活性化関数として用いられるが、CPPNではそれらに加えて、「三角関数」「のこぎり波」「絶対値関数」「ガウス関数」といった多彩な関数、特に周期的・対称的な関数が用いられ、またノードごとに内蔵する活性化関数の種類も異なる（図2）。

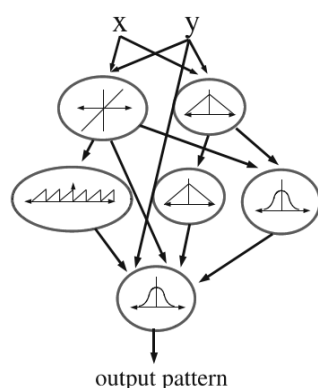


図2⁹

この特徴のため、CPPNは構造的なパターンを生成することができる。

⁸ 言葉の初出である論文「Compositional pattern producing networks: A novel abstraction of development」（2007）において著者は「CPPNはNNと非常に似ているけど別物」という旨を述べているが、便宜上ここではNNの一種として扱う。

⁹ 引用：Kenneth O. Stanley. Compositional pattern producing networks: A novel abstraction of development. 2007. Fig.4

以下で実例を示す。デジタル画像の各ピクセルについて、位置情報 (x, y) をCPPNに入力し、出力層の3つのノードをそのピクセルの色情報 (RGB) のそれぞれの値として設定することで、線形な入力に対してCPPNがどのように機能するか確認できる。

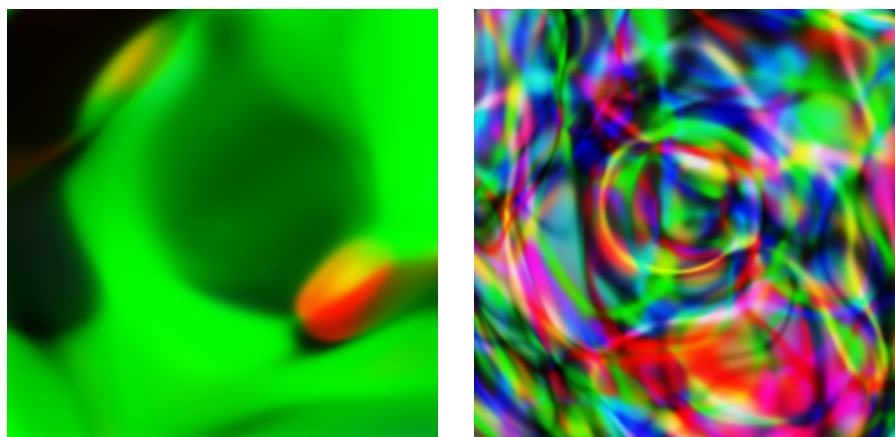


図3 (左) ・ 4 (右)

図3・4にはそれぞれこのやり方で実際に生成した画像を示した。図3はシグモイド関数の一種である双曲線正接関数 ($\tanh$) のみをすべてのノードの活性化関数として用いたものの、図4は、 $\tanh$ に加え $\exp$ 関数 (e^x) と正弦関数を追加したものである。その他のパラメータは両図の生成に際して変更していない。

一見して分かるように、図4のほうが模様が細かく複雑になっている。特に、全体として一過的なパターンを持つ図3に対して、図4はより細かいパターンが画像の全体に遍在している様子が見られることが注目すべき点である。このような周期性のある構造的なパターンが即ちCPPNの出力の特長であり、最大の有用性と言える。

そして、このCPPNをエージェントの意思決定エンジンとして用いることができる。具体的には、CPPNが生み出すパターンをエージェントの行動のパターンに変換する仕組みを構築する。

図3のような一過性のパターンは、このような行動パターンとして扱うにはあまり適していない。一過性の出力を外部から見たとき、その内部構造について十分な理解がなければ、それは実質的にランダムな行動と何ら差がないからである。

CPPNの出力は、単により複雑なパターンという以上に、局所領域における細かいパターンの発生ルールを生成しているものと見なせる。つまり、これを意思決定エンジンとして用いることは、エージェントに秩序だった行動様式を持つ余地を与えることを意味する。

CPPNは任意の個数の数値を出力する。この個数は出力層のノードの数に等しいため、必要に応じていくらでも増やすことができるが、実行中に動的に調整することはできない¹⁰。

エージェントが動的に分離結合し、かつ他のエージェントの情報を取得して意思決定に利用することを踏まえると、複雑な出力で細かく制御するというよりは、少ない出力を大きな指針として用い、細部は別の個所で別途扱うほうがよい。

この点を踏まえ、ここでは出力値を各行動の強度¹¹を決定するための数値として扱う。厳密には、エージェントが保持している強度パラメータに対し、毎ステップ¹²の意思決定エンジンの各出力値を加減算する。ステップの出力値をそのまま扱わないのは、その瞬間に加えて直前の出力も考慮することで、短時間での急激な状況変化やノイズに惑わされることを防ぐためである。

続いて、エージェントが取る行動の種類を定義する。先に述べた通り、これらは意思決定エンジンの出力層の各ノードを割り当てられ、その値を参照して実行強度を変化させる。したがって、それぞれの行動はスカラー値で十分にその仔細を決定できるようなものでなければならない¹³。さらに、各出力ノードの値は並行して取得できるため、同時に実行しても競合しないことも重要な条件である。

具体的には、「推進」「踏み締め」「結合」「エネルギー送り出し」「センサー調整」「繁殖」を定める。いくつかについては後の第3項、繁殖に関しては第4項で補足する。

- 推進は、エージェントが自身の空間的な位置を力を加えて変化させる。今回のような2次元xy空間を扱う場合は、ふたつの出力ノードをxy各成分の力の大きさと見て扱えばよい。

¹⁰ パラメータの配置や組み合わせを破壊して全体の機能を損なわせる可能性がある。

¹¹ 「エージェントがその種類の行動をどれだけ大きく実行したいと思っているか（意欲の程度）」を表す値、と言い換えることもできる。例えば「ボールを蹴る」という行動があると仮定して、強度が小さければボールは少し転がり、非常に大きければ遥か彼方へ飛んでいく、そもそも0なら微動だにしない（蹴らない）といった具合である。この程度がもたらす影響はその行動自体の性質に強く依存するため、あくまでも「強度」という言葉自体、さほど厳密に捉える必要もない。

¹² コンピュータプログラムにおける計算の1サイクル。

¹³ いくつかの出力をまとめて複雑なデータ構造体として処理することも可能だが、最適化問題の難度は上昇する。今回のモデルはいわゆる機械学習のように明示的な評価関数を持たない（詳細は後述）ため、特にこの影響が大きいと考えられる。よって、ここでは「単一の行動に単一の出力ノード」の形に絞るものとする。

- 踏み締めは、推進行動や外力などで発生する力ベクトルに対する抵抗が増加して動きにくくなる。
- 結合は、他のエージェントとの物理的・情動的な接続状態を形成する。
- エネルギー送り出しは、エージェントが結合された他のエージェントに対してエネルギー値を送り出す。
- センサー調整は、エージェントが備えるセンサーの検出範囲などを増減させる。強くセンサーを稼働させることで消費するエネルギー量も増える。
- 繁殖は、一定のエネルギーを消費して、自身のものを変異させたパラメータを持つ新しいエージェント個体を自身に結合した状態で生成する。

3. エージェントの結合と群体形成

概要：

エージェントは特定の条件を満たすことで結合する。一体のエージェントに対して、異なる二体以上のエージェントが結合でき、エージェントの群体が発生する。結合したエージェントは物理的にも連動して動き、互いに情報を送りあうネットワークを形成する。また、結合個体間ではエネルギーを相手に送る形で共有できる。加えて、結合を通じたエネルギーや情報の伝達は完全な形では行われず、何らかの欠損が生じる。

説明：

個体AB間の結合の発生は、「AB間の距離の逆数×個体Aの結合強度×個体Bの結合強度」の値が閾値を超えたときにABは互いに結合する。つまり、距離が近いほど結合は起きやすく、どちらかの強度が大きくても、もう片方が非常に小さければ結合は成立しない。

結合したエージェントは物理的に繋がる（一定距離を保とうとする）。大きな群体は複数のエージェントが複雑な結合の仕方をしているが、それでも結局は個々のエージェントについて、力になるべく釣り合う方向に引っ張る力を計算して働かせればよい¹⁴。「移動」行動も、この力と共通に処理すれば競合状態を発生させずに済む。更に、「踏み締め」によってエージェントの抵抗が群体内の局所で変化することで、力のかかり具合に偏りが生じ、「結

¹⁴ なお、これが硬いロープ（長さに厳密な条件がある）で結ばれていると計算難度が跳ね上がるので、ここでは接続を弾力のあるゴムのようなものとして扱う。

合」の値によって結合強度の大きさによってその結びつきの強さが変わること、群体の挙動は多彩さを持つ。

エージェント間の情報伝達は、あるエージェントが得た信号を結合している周囲のエージェントに共有する。厳密にはそれらの全エージェントの入力値の平均を取得し、意思決定エンジンにエージェント自身のセンサー情報などと並列に入力することを行う。エージェントが得る入力情報そのものは客観的だが、その取得においてはエージェント自体のセンサー状態や立ち位置が関係し、かつこれらはエージェントがそれまでに受けた外部刺激の積み重ねによって生じるため、実質的にその個体の形質や状況を反映していると捉えられる。出力信号は意思決定エンジンの特性をそのまま反映しているという点で優れているが、通常の入力と意味的に大きく異なるため、統合するべきではないと考えた。

また、エージェントによるエネルギーの共有は、エージェント間の最も直接的で基本的な相互作用の形態である。エージェントは意思決定エンジンによって周りの（結合した）エージェントに送り出すエネルギーの量を決定するが、そこには入力の段階で他のエージェントの状態が介入するため、「エネルギーを多く送り出すように仕向ける」「大きな群体を維持するために、エネルギーを得やすいエージェントがそうでないエージェントを支援する」といった状況が発生する可能性を用意する。

この設計でエージェントは群体を形成し、また私たちもそれを狙って設計を行ったが、当然、群体が大きければ大きいほど良いのであれば、適応はその極端な肥大化という一方向にのみ進むことになる。

群体内部での伝達は空間性を持つことから、そこに完全性がなく、いくらかの欠損が生まれるようにすることで、過度に大きな群体はその機能の過程でエラーの影響を激しく受けることになり、結果としてより優れた形が探索されるようになる。

4. 自然選択

概要：

シミュレーション空間にエージェントを配置し、リソースが任意のルールによって場に散布されるよう設定する。シミュレータの設計が適切であれば、その後放置することでエージェントが活動し、繁殖と変異の積み重ねによって環境に適応しない個体は徐々に淘汰され、適応が進んでいく。

説明：

第3項で触れたとおり、エージェントについて自然選択のサイクルが回れば、いずれ分業の形に辿り着くと私たちは考えている。

先に述べた通り、自然選択とはつまり世代交代、その表現に必要なのは「繁殖」と「死」、そして「変異」である。死は先述の通り「エネルギー値が0になる」という条件によって定義した。ここでは、他2つの繁殖とそれに伴う変異について定める。

繁殖は行動の一種として置いたため、割り当てられた意思決定エンジンの出力ノードを参照する。具体的な挙動としては、蓄積された出力ノードの値が閾値を超え、かつ個体のエネルギー値が一定以上であれば、エネルギーを消費して自身の形質（意思決定エンジンのパラメータ）を継承した新しい個体を発生させる¹⁵。また、この新しい個体は発生元（親）の個体に結合された形で発生する。これは、エージェントが群体を形成することを踏まえ、新しく生成された個体に「群体に留まるか」「群体を離れるか」を選択させることを意図したものであり、これは中長期的に強力な群体を自己完結のうちに成長させ、個体ではなく群体の競争を誘発することに繋がる。

変異は繁殖に伴って発生する。エージェントは新しい個体を発生させる際に自身の意思決定エンジンのパラメータ、つまり活性化関数の種類・重み・バイアス値を用いるが、これは結局のところ単なる数値の塊であり、任意の数学的处理で簡単に加工できる。従って、発生時に一定の確率で継承するパラメータに僅かな変化を加えることで、生殖時の細胞分裂における複製エラーと同じ効果を得られる。

また、遺伝的アルゴリズムのようにエージェントの優劣について評価関数を定義するべきではない。エージェントに消滅（生物的な比喩を用いれば死）を実装している以上、個体の存続に適した形質が是¹⁶であり、関連してエネルギー値という軸がある。しかし、その軸はエージェントの特性をただちに評価しない。

存続という0か1かの目標に対して、地を這うような僅かなエネルギー残量を細々と維持し続けることが適解の場合も、また逆も想定できる。それらは周囲のエージェントとの相互作用などによって定まるものであり、それも一意にではない。

¹⁵ 無性生殖的な形を採用したのは、有性生殖が2個体間の合意形成などの難問を要求し、かつ交配の導入によって得られる遺伝的多様性が今回のテーマに重要でないと判断したからである。

¹⁶ 是も非も絶対的には定義されないが、適さない形質を持つ個体はそのうちに消えてしまうのだから、必然的に存続（生存）が適応の対象となっていく。よって、これを「是」とするとする。

よって、サイクルが回るのに十分な環境だけを用意して後は放置しておけばよい。わざわざ評価などしなくとも、適応と分業が進んでいく。

5. 今後の方針

以上、「進化的分業の観察」というテーマに対し、私たちが設計し、これから作成していくシミュレーションモデルについて、その前提となる考え方を含めて説明した。

今後は、このシミュレータを実際に作成し、実行し、その結果を分析することで、このシミュレータが進化的分業についてどのような特性を持つのかを考察していく。

それにあたり、分業の発生を何らかの手段でもって定量的に測る必要がある。これに関して、ここでは「アブレーション分析」を利用した手法について述べる。

「アブレーション (Ablation, 切除)」という言葉は医療や材料工学の分野にも見られるが、ここでは計算機科学や人工知能の分野における「Ablation Study」を指す。系を構成する要素を一時的に取り除き、その後の系全体の変化を観察することで、そこから取り除いた要素の系内における働きを知る、という考え方で、これをそのまま今回のようなモデルにも応用できる。

つまり、十分に進行したシミュレーションにおいて、エージェントを適当なやり方でいくつかのクラスタ（集まり）に分け、一つを瞬間的に削除した「並行世界」をクラスタの数だけ用意し、それらを更に進めたときにどのような差異が生じるかを観察することで、そのクラスタが系において果たしていた役割を考察することができる。

この手法の実行のために検討すべきことは「クラスタリングの基準」と「並行世界ごとの差異の調べ方」の2点に集約され、今後の課題とする。

6. 参考文献

[1] 新江ノ島水族館. 『カツオノエボシの魅力その1【体の構造】』.

<https://www.enosui.com/diaryentry.php?eid=04563>. (閲覧日: 2026.5.23)

[2] Kenneth O. Stanley. Compositional pattern producing networks: A novel abstraction of development. 2007.

中間報告書

Never gonna give you up班

本多桂大 武智響生 岸悠人 川畑慧悟 岡山幸司朗

テーマ: 音と勉強効率

研究動機:

我々は受験生として勉強に励んでいた。その中でも勉強に集中するためには勉強の効率を上げることが必要だと考えた。そのため勉強の効率をあげる方法を探ることに決め、そこには音の要因が大きく関わっていると考えた。そこで、音によって勉強効率が上がるかを知りたいと思い調べることに決めた。

実験の目的

- ・音あり、音なしによって勉強効率は変わるのか
- ・変わるならどの音程なのか

実験の方法

- 1.無音、ド、ミ、ソの音で試行（※下記サイト使用）
- 2.「試行時間100秒」、「休憩時間100秒以上」を1セットとする
- 3.音4つ×5セットの1人20回
- 4.それぞれ回答数、正答数、正答率を記録
- 5.それぞれの音の記録からグラフをつくり、傾向を調べる
- 6.同じヘッドホン(WIRELESS HEADPHONES)で試行
- 7.音の波形は正弦波に固定

理由

○これら4つの音にした理由

・ド〜シまで7つの音+音無にすると実験結果が現れるまで時間がかかるため

・4つやれば単音と音無で変化があるかどうかが見られるため

○休憩時間をとった理由

・前の音が影響する可能性を考慮し、影響をなくすため

○正弦波に固定した理由

・音波を統一するため

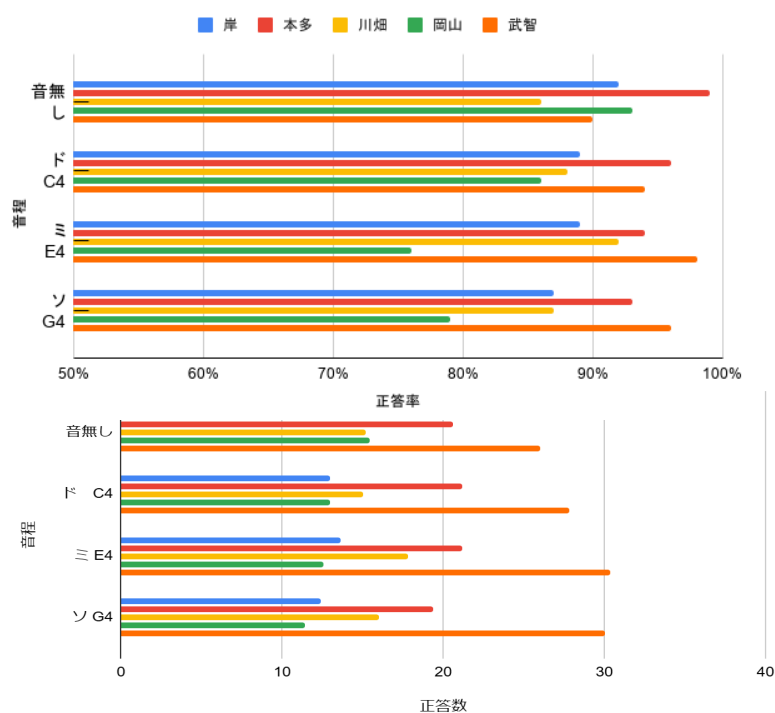
研究結果

音無し：岡山、岸は正答数、正答率ともに一番高く、本多は正答率が一番高くなった。武智は正答数、正答率ともに一番低く、川畑は正答率が一番低くなった。

ドC4：全体において正答数、正答率が低くなった。

ミE4：岡山を除く全員の正答数が上がった。

ソG4：全体において正答数、正答率が低くなった。



結果の考察

結果から、音が無いことにより成績があがるタイプの人と音あり(ミの音)のほうが成績があがるタイプの人に分類できる可能性がある。

ミの音に明らかな相関が見られたことから、ミの音には何らかの効力があると考えられる。

今後の展望

実験1では、各音に対する集中力を調べることはできたが、その一方で記憶力に関する音の影響はまだ調べられていない。

そのため次の実験では記憶力に関して知らべていきたい。

※正弦波を発生させたサイト:

<https://www.onlinemictest.com/ja/tone-generator>