

R7 課題探究論文集② (2 / 3冊目) 目次

グループNo.	テーマ	人数	メンバー			
1	幸福度の上げ方	4	505牛越成美	531星野ゆりあ	508大備美月	528中村友里愛
2	座右の銘の見つけ方	2	311坂田奈々	329船崎心春		
3	高校生におけるストレスの原因と対処法	3	337村松壮志	535村澤海磨	532牧島伸弥	
4	占いにおける心理変化	4	606一條愛美	607市村優花	616城本悠	622博田真菜
5	ディズニーの戦略と高校生の心理	2	416島津菜里	437矢島卓色		
6	弓道と思考の心理学	1	111金知秀			
7	直木賞を当てろ!	3	211栗田衣歩季	310小山脉	623戸谷結香	
8	イルミネーションと色彩心理	4	438和氣希弥	506内山友里	521高橋菜月	502荒井琉華
9	地域ごとの米価の違い	1	322西澤幸希			
10	楽器の値上がりと世界情勢	3	323長谷川結花	330松田菜花	0611小山千乃	
11	日経ストックリーグ	4	207小松瑞希	326平林花穂	328藤崎良菜	628長谷部真優
12	転職 ~Changing jobs changes a person~	5	514河野玲音	603新井裕太	624豊田柊	626中牧隼人 637山崎悠真
13	飲食店における行動経済学	3	110北澤澤奈	114笹本旬柑	118永井結衣	
14	イルミネーションで地域活性化	4	305遠藤紗来	309 小林優奈	613佐藤美空	610小林愛奈
15	杏を使った千曲市の活性化	3	430原山結衣	402上野楽	422田中こころ	
16	イベントから始める地域活性化	3	208小山愛果	509春日沙柚	527中村由依	
17	温泉の効能と地域発展について	3	308久保桜河	529長谷川樹	313鈴木翔太	
18	路地裏ファンタスティック!!	3	137渡辺樹	201阿部恵	331三井あかり	
19	結婚観の変化と令和の高校生の結婚観	4	209近藤友紀	215寺町菜	234山崎華華	632宮崎瑞菜
20	スカイコプター	4	105宇佐美結心	401今井秀侑	408橋澤勇斗	106大熊良治
21	音で電気を作る	4	318田中千鶴	407片山芽生	530平野美央	533増田愛音
22	紙飛行機	3	206小松爽太郎	537横山敦一	539鷗尾陸	
23	真空の性質と周囲に与える影響	4	403日進平	419高波慶人	436 宮崎亮太	435 丸田侑士郎
24	髪のボリューム感を規定する形態的要因の検討	2	113小村結愛	417清水香佳		
25	ジビエの認知	3	512北澤朋華	523 滝澤音華	620 滝澤美帆	
26	音楽による感情の変化	4	301板倉珠咲	302 市野輝心路	324 林佑香	333三石陽菜葵
27	どうなの?生分解性プラスチック	1	413佐藤舞花			
28	千曲市をクリーンに	3	203市川皓士朗	204 今井俊介	609 北村侑士	
29	あみだくじの数学と方程式	1	109兼澤健真			
30	マインスイーパー	1	124堀號太郎			
31	内外逆転変身図形の応用	4	104今井奈緒	123古旗菜和	115 下村佳宝	424 塚田望生
32	虚二次体整数環上の底と仮数を持つ記数法が一意性と完全性を満たす条件の解明	1	128宮澤希成			
33	Pythonを用いたブラウン運動の数値計算と運動の解析	1	428中山由隆			
34	火の造形	4	314鈴木陽人	405萩原巧羽	604飯沼徳真	634村山暖真
35	恐竜の生態	5	210齊藤健太	312塩原知弥	226藤岡光明	325平井善人 516小林芽吹
36	結晶のカタチを操作する!	4	429仁科拓人	411小林世楽	412坂本陽之	
37	昆虫最強決定戦	4	117東條駿珀	602赤羽純太郎	0120中島悠都	0427永井隼大
38	周波数	2	605石井優美子	612酒井悠名		
39	口臭大作戦	4	216遠山航世	525中曾根環	339山岸蒼空	332三井結翔
40	”自分ごと”としての糖尿病 ~病と向き合う視点の変化~	3	122平林尚典	112黒岩律希	426豊永陽一	
41	発見!最強アラーム	4	202石橋雪乃	217 時徳こころ	218 富岡若葉	223 橋倉歩叶
42	姿勢を改善するには	4	409久保田沙友菜	423田中美樹	410小林さむ	432平塚百美
43	界面活性剤濃度と気泡構造体の膜強度	2	103井上弥采	129宮原瑞葵		
44	修学旅行	4	205歌代一輝	630丸山裕汰	219中川麻也	520島田啓慎
45	バスケットのシュート率を上げるには	4	338森快翔	340依田和典	519重野秀	536山岸翔
46	体重と筋肉量の関係	4	133山口俊	406掛川晴誠	425土屋允人	433古田基一朗
47	自己肯定感	3	213嶋野こども	237吉池美空	235滝井帆乃花	
48	野草茶の魅力とは	3	515越山萌	524徳竹希美	538吉澤愛梨	
49	物価高クッキング	4	119中島幸太郎	125 松橋新	126 丸山健太郎	132 八木澤駿
50	お茶による多様な人の味覚と売り上げ	3	121七海真帆	507大澤歌鈴	625中澤愛子	
51	アミロースと米粉のシフォンケーキ	3	134山本結希	431半田彩華	418助川桃佳	
52	三兎を追う屋高生のためのスイーツ開発	4	608上田くるみ	621武田悠楽	617関心音	629松沢美空
53	スイーツ系おやきを作ろう!	3	101石寄海優	130百瀬小春	136依田瑚南	
54	りんごを使った郷土料理による地域活性化	4	307笠井望	327広田幸千	335宮下舞弥	534宮澤里菜
55	果物+塩	1	224橋本美佳			
56	昆虫食を食べてもらう方法	3	229峯村悠生	228三品遼季	501青木孝賢	
57	食品ロスを減らそう	3	319中村嶋介	639瀧井史翔	321新村諭史	
58	果物の皮を食べる	4	231宮澤亮満	306尾岸健典	214塚田信介	315鈴木亮大
59	筋肉量と筋トレ	4	303井出堅心	317田中大翔	517小林謙	627中村陸人
60	長谷川白紙氏の楽曲を分析する	1	415島田素			
61	作曲	4	336村石奏太	526中橋凛太郎	635森田日向	638八波羅佑樹
62	高齢者福祉で生きやすい社会をつくる	5	127水野桜結	131森下春花	320永山更紗	222野口知華 420高橋明優羽
63	子ども食堂の役割と可能性	3	404内山莉緒	421竹内瑠那	434松本七海	
64	保護犬	2	102市村杏	107帯刀結		
65	韓国の流行が日本にどう影響しているか	3	304井本美緒	316関谷彩南	334緑川凛桜	
67	ネットミーム系界隈の社会的影響力	2	233村澤遼紀	236吉井暉一郎		
68	ボカロ口の変遷&作曲	2	108柏木志穂	414佐藤蓮		
69	屋高生の青春ライフの作り方	2	503飯島梨央奈	504 井川万尋		
70	最強の日焼け止めを作ろう	5	220中澤凜	221中島麻琴	225半田美帆	230三原萌音 232宮島聖奈
71	貧乏揺すり	5	212清水陽生	631三井楓寿	614柴田拓門	239渡邊心敬 238渡辺大智
72	ヘアケア製品と髪の毛への影響や効果のちがい	3	615清水千結	619高野美和	636両角愛音	
73	付加価値	4	510金井駿典	513久保田和輝	511 上條唯聖	518小林洋平
74	Depth of Crater	4	618関口丈士	633宮島優衣奈	522高山未央	116高橋奈々
75	宇宙人は地球の青さに気づけるか?	1	135吉澤汰一			

音楽による感情の変化

—音楽が与える影響—

研究者 2年3組33番 氏名 三石陽菜葵
 2年3組1番 氏名 板倉珠咲
 2年3組2番 氏名 市野瀬心路
 2年3組24番 氏名 林佑香

1. 研究目的

身近にある音楽は人の心情にどのような影響をもたらすのかを明らかにする。また、音楽を学習やストレス対処など生活場面への応用を検討し今後充実した生活を過ごせるようにするため。

2. 現状（先行研究の分析）

(1) 音楽と感情の関係は心理学分野で多く研究されてきた。ある研究ではこのテーマを「音楽の感情的性格」「音楽による感情喚起」「音楽を通じた感情コミュニケーション」の3つに整理している。特に「音楽による感情喚起」の研究では、音楽を聴くことで実際に感情が変化することが示されている。初期研究では、Hevner (1935) がテンポや調性など音楽的要素が感情印象に影響することを明らかにし、Rigg (1940) は速いテンポは明るく興奮的、遅いテンポは悲しく静かな印象を与えると報告した。これらの研究から、音楽が感情を変化させる効果を持つことが科学的に示されており、リラックスや集中の向上など現代生活への応用が期待されている。

このことから私たちは同年代の108人を対象に2つのアンケートを実施した。

- ①音楽が感情に変化をもたらすのか、またそれぞれの感情によって聴く音楽の種類はどう変わるのか調べる。
- ②音楽が勉強にどのような影響をもたらすのかを調べる。

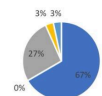
①音楽を聴いて感情が変わったことがある

音楽を聴いて感情が変わったこと

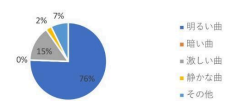


②それぞれの感情によって聴く曲の種類

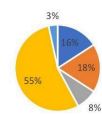
楽しい時に聴く音楽



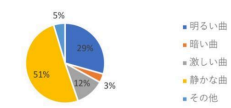
嬉しい時に聴く音楽



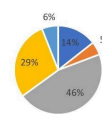
悲しい時に聴く音楽



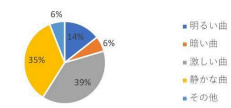
寂しい時に聴く音楽



怒っている時に聴く音楽

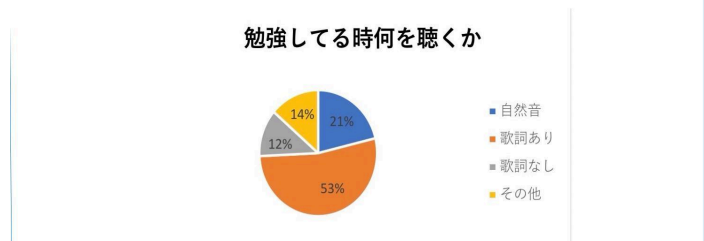
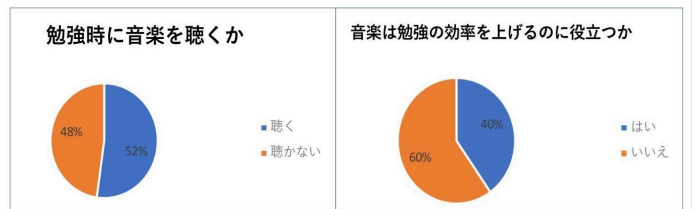


イライラ時に聴く音楽



実験の結果から、大半の人が音楽で感情が変化した経験があった。楽しい時や嬉しい時は明るい曲を聴く人が半数以上で暗い曲を選ぶ人はいなかった。悲しい時や寂しい時は静かな曲が多く、特に悲しい時は暗い曲を聴く人が寂しい時より多かった。怒っている時やイライラしている時は激しい曲や静かな曲が多かった。

(2)



結果から、勉強中に音楽を聴く人は52%で聞かない人より少し多かった。しかし音楽が勉強の効率を上げると感じている人は40%にとどまり、60%は効果

がないと答えていた。勉強に聴く音楽は歌詞ありが53%で最も多く、次に自然音が21%だった。

4. 結果・考察

研究①から感情によって聴く音楽の種類が変わることがわかった。特に気分が落ち込んでいる時は静かな曲など感情に寄り添う音楽を聴く人が多かった。また音楽には気持ちを高めたり落ち着かせたりする働きがあり、感情への影響は大きいと考えられる。

研究②では勉強中に音楽を聴く人は約半数以上いたが効率が上がると感じている人はそれより少なかった。歌詞ありの音楽を聴く人が多い点には疑問が残り、今後はより詳しいアンケートや資料調査が必要と考えられる。

5. 自分の提案 (答え)

(1) 提案1

歌詞ありの音楽を勉強中に聴くのが効率的かどうかを調べるために私たち4人で実験を行う。

(理由)

アンケート調査を行った際に音楽は勉強効率を上げるのに役立つか聞いたところ、役立たないという回答の方が多かった。実際には勉強の効率を上げるのか実験をしてアンケート以外の結果を求めようと思ったから。

(実験方法)

それぞれ異なる種類の音楽をききながら同じ難易度の計算問題20問解く。解き切るまでにかかった時間と間違えた問題数を調べ表にまとめる。

実験した音楽

- ①音楽なし
- ②自然音
- ③歌詞あり
- ④歌詞なし

結果・考察)

名前	板倉	市ノ瀬	林	三石
音楽なし	1m5s 0	52s 1	1m 0	53s 2
自然音	1m7s 0	1m8s 0	54s 0	50s 1
歌詞あり	1m3s 2	1m 0	56s 0	52s 0
歌詞なし	1m 0	1m 1	1m6s 0	56s 3

※タイム (最短、最長), 間違えた問題数

(表1) 表1の説明文

- ・自然音が最短、高い正答率だった人が2/4いたが他の2/4の人はタイムが最長となってしまった。
- ・自然音はタイムに個人差が出たが、正答率は実験した音楽の中で全体的に良かった。
- ・歌詞なしは時間もかかり、正答率が低い人が最も多かった。

このことから一概には自然音は勉強効率を上げるとは言えない。しかし歌詞なしは音楽なしよりも、タイムと正答率が下がったことから勉強効率を下げるという

ことがわかった。しかし実験対象者が4人しかいなかったこと、実験を一回しか行っていないため平均が出せず正確性がなかった。

(2) 提案2

映画で重要なシーンでは自然音が流れるのではないかと。また楽しいシーンでは明るい音楽が流れるのではないかと。

(理由)

提案1で自然音が最も勉強効率を上げたことから1番集中できるのは自然音であるのではないかと思ったので、映画において一番重要なシーンでは集中させるために自然音が流れるのではないかと思ったから。

実験方法)

提案1で実験を行った4種類の音楽(歌詞あり、歌詞なし、音楽なし、自然音)が流れ、キャストによる好みや感情変化の起きないアニメである「ズートピア」を見てそれぞれのシーンでどんな音楽が流れていたのかを調べる。

結果・考察)

- ・楽しいシーンでは明るくテンポの速い音楽が流れることが多かった。
- ・重要なシーン、何かが起きそうな緊迫したシーンでは音楽がなく無音。

このことから集中させたいところではその映画一本だけを見られるように音楽がないのではないかと思う。よって楽しい時に明るい音楽が流れるという仮説は成立すると考えられる。また、提案2から音楽なしにすることで映画のみに集中できたことから、音楽なしのとき集中力が高まり勉強効率が上がりそうだが、提案1とは異なる結果となってしまった。映画に流れる音楽が必ずしも勉強効率を上げ集中させる、勉強している時の気持ちを落ち着かせるというわけではなかった。先行研究から音楽は感情に変化を与えるということはわかったが、それが勉強効率を上げることにはつながらずとも言えない。しかし音楽は気持ちを落ち着かせたり感情に変化をもたらすので勉強する時に音楽を聴いている人が多い理由として、直接的な作業効率を上げるのを求めているのではなく、心理的に影響を与えられることで緊張などがほぐれ作業効率が上がることが望まれているからではないかと思う。

6. 今後の課題

それぞれの感情でどのような音楽を聴くのかは調査することができたが、なぜその音楽を聴くのか、その音楽を聴くことでどのような感情になるのかまでは調査できなかったため、さらにアンケートの質問を増やす必要がある。

勉強のとき音楽を聴いているのは効率を上げるために音楽を聴いているのか、そうでないのか、どの音楽がその効率を上げるのか今回のアンケートからは詳細な結果を出すことができなかったため最も細かい質問や資料調査をしなければいけない。音楽が勉強効率を上げているのかについてはもっと実験対象者を増やし平均値を取ることで正確さを上げる必要がある。

7. 引用・参考文献

<http://news.yahoo.co.jp/pickup/6220059>

どうなの？生分解性プラスチック

—実は自然界で完全に分解されることは難しい—

研究者 2年 4組 13番 氏名 佐藤舞花

1. 研究目的

(A) 科学的アプローチ

分解度実験を通して、身近な商品の生分解性プラスチックはどのように分解されるのか確認する。また、自然では分解しづらい生分解性プラスチックを素早く分解するために、どのようなプラスチックの種類の商品が、どのような菌によって早く分解されるのか検証する。

(B) 社会的アプローチ

上記の科学的アプローチを踏まえ、一般生活者の皆さんに生分解性プラスチックというものや日本の環境問題の現状などについて意識調査を行い、その結果を踏まえ、それぞれについて考察する。

2. 背景 1)2)

(1) 生分解性プラスチックとは何か

微生物の働きによって最終的に水と二酸化炭素に分解される環境に優しいプラスチックのこと。(図1)

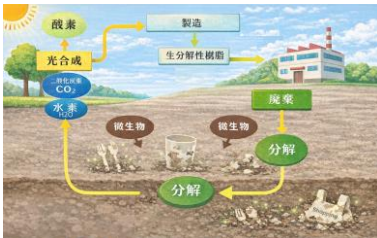


図1：分解の過程

通常のプラスチックは自然の光や熱による環境劣化と微生物による分解を合わせて完全分解に数十年～数百年かかると言われているが、生分解性プラスチックは微生物が分解しやすい構造になっているため、分解が早く進む。

仕組みとしては、分子の多く連なった高分子のプラスチックを微生物が分泌した酵素によって低分子にし、それを微生物が食べることで二酸化炭素と水に分解される。(図2)

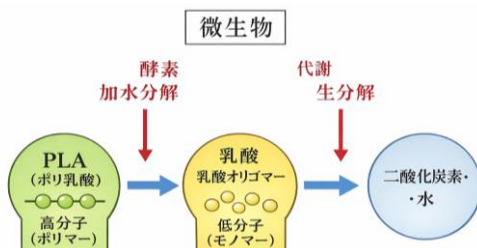


図2：分解の仕組み

主にシートや防獣ネット、使い捨て容器などやむを得ず自然界に放置しなくてはならない製品に使われることが多い。

(2) 主なメリット・デメリットと課題

①メリット

自然界に長期残留しにくい、マイクロプラスチック問題の深刻化を止める、高温多湿の適切な環境下であれば4カ月ほどで完全分解される。

②デメリット

リサイクルに支障をきたす、生産コストが高い、強度が低い。

③残された課題

分解条件が限られる。(海水中、低温下では分解が遅く、適切な堆肥化システム下でないと完全分解は難しい)二酸化炭素が発生するため気候変動対策にならない。自然界では完全に分解されるわけではないが、ポイ捨てしても大丈夫と誤解する人も多くいるため、かえって汚染が進む可能性がある。家庭ゴミとして廃棄されると大半が燃やされてしまい、堆肥化されて自然に還る生プラ本来の効果を発揮できていない。

(3) 日本の取り組み

(2)③などの理由から一般にはあまり出回っておらず、まだまだ商品数も少ない。また、日本はパリ協定などにより二酸化炭素排出量を削減する植物由来(バイオマス)プラスチックの導入量を増やす政策を取っている。

3. (A) 科学的アプローチの実験条件

約6か月間(6月14日～11月24日)、生分解性プラスチックの分解実験を行った。

実験① ストローで生分解を可視化する

大手カフェチェーンS社は2025年3月から海水中でも生分解するストロー(カネカ社のバイオプラネット製)(植物由来)を提供している。ストローはS社の生分解性ストローとポリプロピレン製ストロー(非生分解性)、ストローを置く環境は海水中と土壌中の4パターンで経過観察を行った。

実験② 分解を促進する身近な食文化素材を探す

それぞれ原料の違う生分解性プラスチック

クフィルム（①植物由来の PLA、②植物由来と石油由来を混合した PLA+PBAT コンパウンド、③石油由来の PBS）と④非生分解性のポリプロピレン（PP）フィルムの4種類のフィルムに対して、家庭で入手できて、分解を促進する可能性があるとして報告されている菌（①麹菌、②乳酸菌と酵母菌を含む生ヌカ、③納豆菌、④白色腐朽菌で構成されるヒラタケ菌糸）と⑤上記①②③の菌を混合するの5種類の組み合わせで計20パターンの実験を行った。

4. 仮説

実験①

海水で生分解されると言っても、水温の低い海中では分解が遅いため、土壌中の分解の方が早いのではないかと。

実験②-1 フィルムについて

植物由来(PLA)より石油由来(PBS)の方が分解されやすく3)、植物由来と石油由来を混ぜ合わせる(PLA+PBAT コンパウンド)ことで耐久性を増している4)と報告があるため、分解されやすい順にPBS、PLA、PLA+PBAT コンパウンド、PPとなるのではないかと。

実験②-2 菌について

生分解性プラスチックを分解すると報告されているのは麹菌5)と納豆菌6)で特に納豆菌は強力である7)とされる。ヒラタケ菌糸はプラスチックを分解8)し、生ヌカは菌の栄養分になり分解を促進する9)と報告されている。これらの菌を混合した場合の報告はないが、それぞれ分解に得意分野があるとすると、混合することで分解が早くなると考えられる。よって分解の早さの順番は混合、納豆菌、麹菌、ヒラタケ菌糸、生ヌカとなるのではないかと。

5. 実験手順

実験①

海水については水槽に海環境を再現し、水中にストローを設置した。(水温は夏季20℃前後、秋季15℃前後に抑えた)(写真1)土壌は腐葉土と牛糞3:1を混ぜ合わせ、ストローを埋め、ベランダに設置した。(土の温度は夏季30℃~20℃、秋季25℃~15℃)



写真1：海水



写真2：土壌

実験②

菌を適量土壌に入れ、そこにフィルムを埋めた。(写真3)フィルムは五洋紙工株式会社様から無償でご提供いただいた。ヒラタケについては初めは原木にフィルムを挟みこんだが、上手く分解が進まず、3ヶ月以降ヒラタケ菌糸マットに埋めた。(写真4)1、2週間に一回程度ストローやフィルムを取り出して観察を行い、またそれぞれの容器内の環境を整えた。6ヶ月間継続して実験を行った。分解力を保つために2ヶ月後と3ヶ月後に菌を追加した。



写真3：土壌



写真4：ヒラタケ

6. 結果・考察

実験①(S社のストローは海水中で4ヶ月ほどでかなり分解が進み、破片が浮遊しないようにネットで包んだ。)

結果①



写真4：S社(拡大画像)

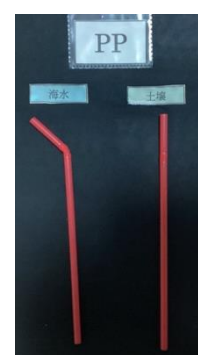
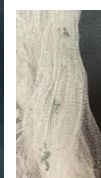


写真5：pp

S社のストローは海水中でほとんど目に見えないほどまで分解されている。土壌中でも多少は分解されているが、海水中程ではない。(写真4)PPは海水でも土壌でも全く分解されなかった。(写真5)

考察①

通常温度の低い海水の方が分解されにくい傾向があるが、S社のストローは海水中で半年もかからずにほとんど分解され、また土壌中でもある程度は分解される優れた商品であった。PPは全く分解が進んでいないように見え、マイクロプラスチック問題の深刻さがわかった。

実験②(写真6)

結果②

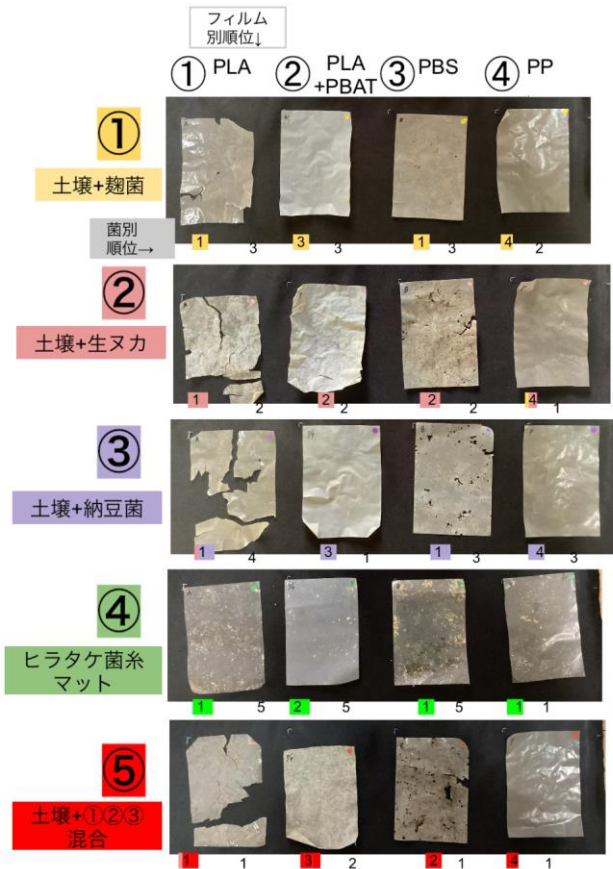


写真6：(横に見ると同じ菌によるフィルムの種類の違いでの結果、縦に見ると同じフィルムによる菌の種類の違いでの結果がわかる。順位の付け方は崩壊度合いや穴の空き具合、白く分解されている度合い、重さなどを点数化して比べて付けた。)

フィルムについては実験開始から4ヶ月は③PBS(石油由来)の分解が進んでいたが高止まりし、最終的には①PLA(植物由来)の分解が最も進んだ。生分解性プラスチックの中ではPLA+PBATコンパウンドは分解が最も進まなかった。pp(非生分解性)はほぼ分解されていなかった。菌については⑤混合が最も分解され、次に②生ヌカ、①麴と③納豆は同じくらい、④ヒラタケの順。

考察②-1 フィルムについて

PLAは植物由来でもあり分解もよくされたため最も環境によい生分解性プラスチックだとわかった。植物由来でも石油由来でも分解は進んだため、耐久性が必要な製品にコンパウンド(PLA+PBAT)を使用するという意義が分かった。

考察②-2 菌について

⑤混合、②生ヌカがよく分解が進んだため、生分解性プラスチックの加水分解は菌の分解力の強さや数の多さよりは多様さや活発さがある方が早く進むのではないかと思う。特定のフィルムが特定の菌でよく分解されるという規則は見られなかった。6ヶ月間、分解する菌の入った土壌に埋めたにも関わらず、第一段階の加水分解が多少進んだだけで完全分解にはほど遠く、まして自然界ではなおさら分解が遅いということがわかった。

7. (B) 社会学的アプローチの研究手法

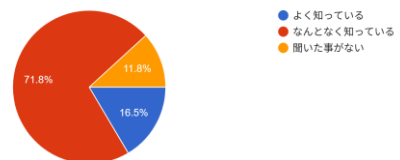
上記の実験結果を踏まえて認知度・意識度調査のため、屋代生にアンケート実施し、自分なりにどうアプローチしていく必要があるか考察する。

8. アンケート結果

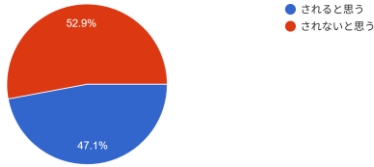
屋代高校の生徒(64人)、先生方(20人)の計85人から回答をいただいた。

(1) 生分解性プラスチックについて

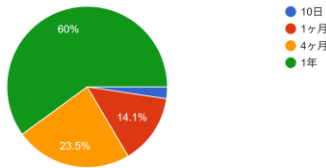
生分解性プラスチックとはどのようなものか知っていますか？
85件の回答



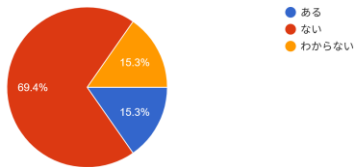
生分解性プラスチックは自然界で完全に分解されると思いますか？
85件の回答



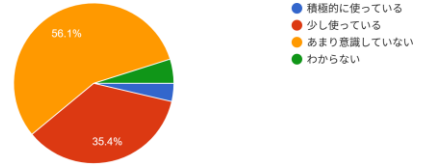
分解に適切な環境(コンポスト内など)で、レジ袋などの生分解性プラスチックは、だいたいどれくらいで分解されると思いますか？
85件の回答



生分解性プラスチックの商品にはこのようなマークが付いています。このマークを見たことがありますか？
85件の回答

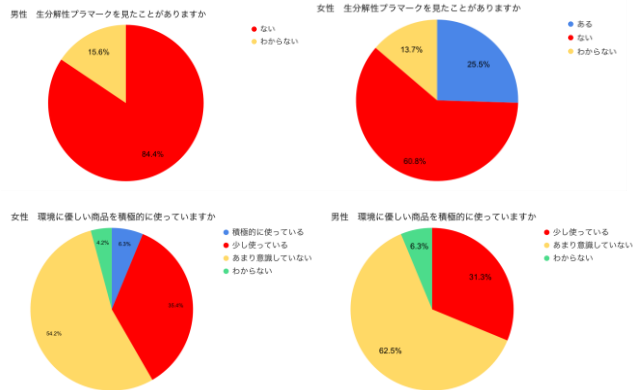


自分自身または家庭で環境にやさしい商品を意識して購入していますか？
82件の回答



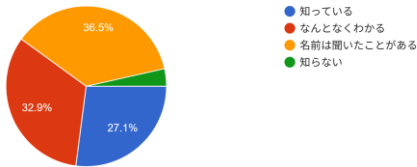
(3) 男性(32人)と女性(51人)での違い

生分解性プラマークを見たことがあると回答した人は全員が女性で、男性は1人もいなかった。また、環境に優しい商品を意識して購入している人は女性に多かった。

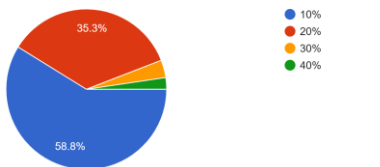


(2) 環境について

パリ協定とは何か知っていますか？
85件の回答



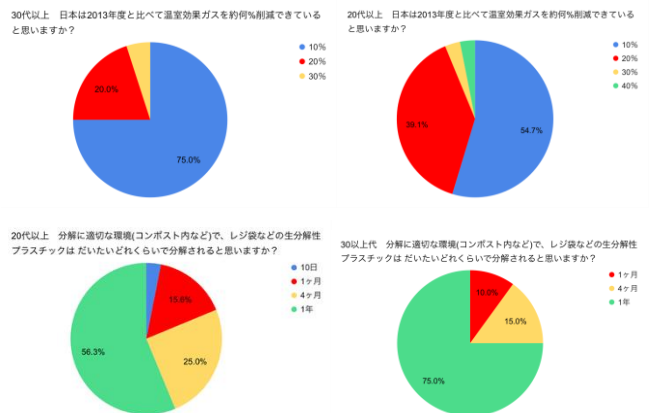
日本は2013年度と比べて温室効果ガスを約何%削減できていると思いますか？
85件の回答



(日本の目標は温室効果ガスを2030年度までに2013年度比で46%削減することだが、2023年度までに23.3%削減達成)

(4) 20代以下(64人)と30代以上(20人)での違い

あまり大きな違いは見られなかったが、20代の方が日本の温室効果ガスの削減比や適切な環境下での生分解性プラスチックの分解速度をより高く回答した割合が高く、30代以上よりも楽観的であった。



9. アンケート考察

(1) 生分解性プラスチックについて

生分解性プラスチックや環境についての認知度は少し高いが、半数の人が自然界で完全に分解されないと思っており、適切な環境下でも生分解性プラスチックは分解が遅いと思っている人や日本の温室効果ガス削減も目標に届いていないと思っている人も多く、生分解性プラスチックの特性や日本の環境への取り組みについて消極的にみている人が多いことがわかった。一方で、生分解性とはいえ、実際は自然界での完全分解は難しいのにも関わらず、半数の人が自然界で完全に分解されると思っていたり、また実際は適切な環境下であれば4ヶ月ほどで分解され、多くの人が思っているよりも早く分解されるなど、正しい理解をしてもらう必要があることがわかった。

(2) フィルムについて

知識はあるが環境に優しい製品を意識して使っている人はあまり多いとは言えないため環境を守れているという体験が得られず、実感が湧きづらいと言える。これが(1)の消極的にとらえてしまう原因とも考えられる。

(3), (4) 男女、年代別アンケートについて

特に20代以下の男性に正しい理解を広める必要性があると考えられる。

10. 提案

提案1 (A) 科学的アプローチ

実験から生分解性プラスチックの商品はPLAを使うと最も速く分解されて環境への負担は小さいため、積極的に使っていくべきで、強度が必要な製品にはコンパウンドを使うと良い。分解の際は一種類の菌で行うのではなく、多様な菌を使うことでより速く分解できることが提案できる。また、それを実践する生分解性プラスチックゴミ処理施設を作ることや、各家庭のコンポストなどで行えるようにすることなど、研究の余地がある。

提案2 (B) 社会学的アプローチ

環境問題を解決するには一人一人が自分達で環境を守ることを実践し、それが成果として現

れているという実感をもってもらう必要がある。

20代以下の男性には環境など大きなことを前面にだすよりも、興味の延長として性能や技術などの面から親しみやすくアプローチしていくとよいのではないかと。

11. まとめ、今後の課題

実験については実験条件や菌の活性力を揃えることが難しい、思ったよりも分解が遅い、分解の仕方が各フィルムの種類によって異なり比較が難しいなど、正確な実験と結果が出せなかったことがとても残念だった。アンケートから知識はあるが、正しい理解や実感が足りていないことが分かった。今やプラスチックは必要不可欠であり、全てのプラスチックを植物由来や生分解性に置き換えることは不可能であるが、環境問題は必ず取り組まなくては行けない地球規模の課題であるため、全体的なバランスを見て、環境負担の少ないプラスチックを最大限利用していく必要があると思う。また、日本の環境保全についてやや消極的に述べてきたが、諸外国と比べても目標達成率は高い方であり、これからの取り組みにも期待できる。この研究を通して皆さんに知識や理解をしていただき、実験を通して身近に生分解性プラスチックの存在を感じてもらえたら幸いだ。

12. 引用・参考文献

1) 朝日新聞『生分解性プラスチックとは？ 特徴や種類、メリット・問題点を解説』

https://www.asahi.com/sdgs/article/15397203?utm_source=chatgpt.com

2) 三井化学株式会社『生分解性プラスチックとは？ メリットや問題点、使用例を解説』

https://jp.mitsuichemicals.com/jp/sustainability/beplayerreplayer/soso/archive/column/common/2025-0228-02?utm_source=chatgpt.com

3) Shen Su, Rodion Kopitzky, Sengül Tolga and Stephan Kabasci

『Polylactide (PLA) and Its Blends with Poly(butylene succinate) (PBS): A Brief Review』 https://www.mdpi.com/2073-4360/11/7/1193?utm_source=chatgpt.com

4) Mi Kyung Kwon, Young Jae Lee, Se Geun Lee,
Sang Gu Kim & Sung Jun Lee

『Synthesis of Block Copolymers Through Melt
Polymerization for Compatibilizing PLA/PBAT
Blends』

https://link.springer.com/article/10.1007/s10924-025-03692-4?utm_source=chatgpt.com

5) 東北大学研究シーズ集 阿部敬悦 『麹菌を用いた生分解性プラスチックの分解リサイクル』

https://www.rpip.tohoku.ac.jp/seeds/profile/198/lang%3Ajp/?utm_source=chatgpt.com

6) 一般社団法人化学物質評価研究機構 『様々な環境でのプラスチックの生分解性評価』

https://www.cerij.or.jp/service/05_polymer/biodegradable.html?utm_source=chatgpt.com

7) セティ株式会社 『製品詳細 納豆菌・枯草菌』

https://www.sceti.co.jp/ingredients/functional/probiotics/detail06_product06.html

8) 関東学院大学 清水 由巳 『キノコはなぜゴムを分解するのか。その“不思議”を解明し、環境問題につなげたい』

https://univ.kanto-gakuin.ac.jp/research/re8-5.html?utm_source=chatgpt.com

9) 株式会社カクイチ 『農業に役立つカビの力。土壌環境の改善や生分解性プラスチックの分解、新たな農薬開発にも期待大なカビの力とは！？』

』
https://www.kaku-ichi.co.jp/media/tips/column/molds-useful-for-agriculture?utm_source=chatgpt.com

千曲市をクリーンに

—ポイ捨てを意識してもらうには—

研究者 2年2組2番市川皓士朗
2年2組3番今井俊輔
2年6組9番北村侑士

1. 研究目的（問題意識）

人目のつかないところに多くのゴミがあるので、その細かいところも綺麗な状態を保てるようにし、千曲市をもっときれいにしていく。

私たちにでもできることを考えて、誰が見ても綺麗な街を作り上げるための具体的な方法提案をすることを本研究の目的とする。

2. 現状（先行研究の分析）

環境省環境再生・資源循環局の令和5年度「ポイ捨て」に関する調査報告書より（いずれも複数回答可）

（図1）ポイ捨てされることが多い物の種類

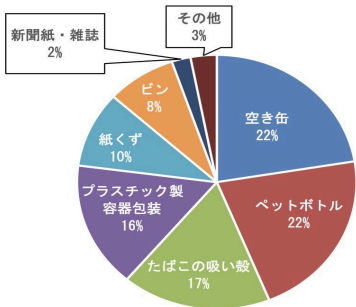


図1より、ゴミのポイ捨ては、空き缶、ペットボトル、タバコの吸い殻が最も多い。このため、この3つのゴミを減らすことで街の中のゴミが減ると考えられる。

（図2）ポイ捨てされたゴミの回収方法

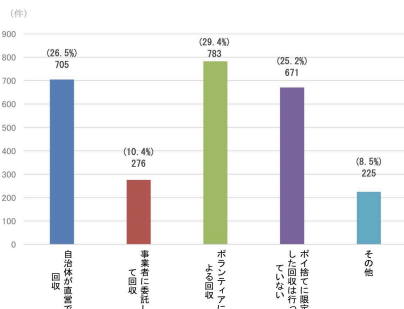


図2より、ポイ捨てされたゴミは、ボランティアや自治体が直営で回収していることが多い。

（図3）ポイ捨てされることが多い場所

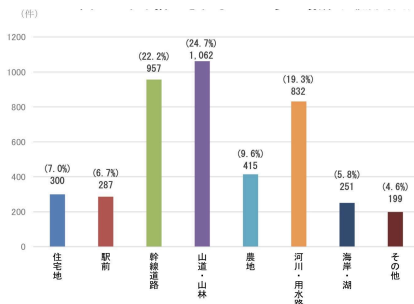


図3より、山道や山林、幹線道路などにポイ捨てされることが多いので、それらエリアを中心にゴミを回収すれば多くのゴミを回収できると考えられる。

3. 仮説

空き缶、ペットボトル、タバコの吸い殻などのゴミを中心に回収することでポイ捨てが減る。また、ポイ捨てされることの多いエリアに絞って回収すると効果がある。

4. 研究方法（研究手法）

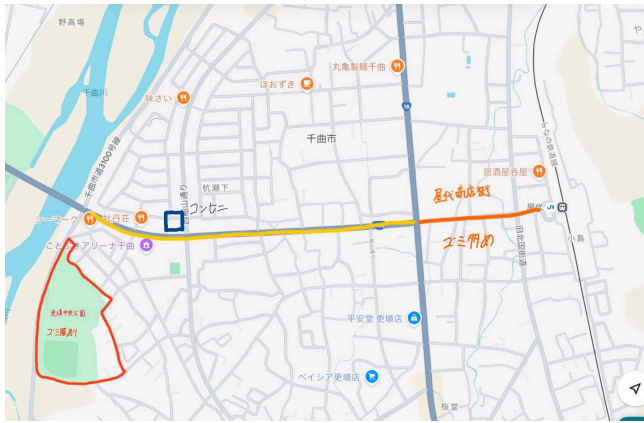
①まず最初に、屋代駅周辺の現状を正確に把握するため、実際に現地へ出向いて歩いてみて、駅前広場や歩道、公園、などにどの程度ゴミが落ちているのかを調査する。どの場所に多く溜まりやすいのか、どんな種類のゴミが多いのかを調査して、具体的な課題をあげる。

②屋代商店街組合を訪ねて、組合長の方から現在商店街や駅周辺で出るゴミに対してどのような取り組みを行っているのか、清掃活動の頻度や方法、住民やお店の協力体制について直接お話を伺う。また、行政や地域住民との連携の仕組みについても伺う。そのうえで、自分たちにできることは何かを仲間と話し合い、具体的に実践してみる。

③ポイ捨てを減らす取り組みとして、近年「スポGOMI（スポーツごみ拾い）」が注目されているため、自分たちの地域で活かさないか実際に参加してみて調査する。スポGOMIとは、ゴミ拾いにスポーツの要素を取り入れた環境活動である。参加者はチームを組み、制限時間内に決められたエリアでゴミを拾い、その量や種類によって得点を競う。ただゴミを集めるだけでなく、作戦を立てたり仲間と協力したりする点がスポーツとしての特徴である。楽しさや競争心を通じて、環境問題を身近に感じてもらうことを目的としており、地域の美化だけでなく、環境意識の向上にもつながる活動である。学校行事や自治体のイベント、企業の社会貢献活動としても実施されており、公園や商店街など全国各地さまざまな場所での開催ができる。

5. 結果・考察

①ゴミの種類として食べ物や空き瓶が目立った。荃根や雑木林などの見えにくいところに多く落ちていた。更埴中央公園よりも屋代駅前通りの方がゴミが多いことがわかった。しかし、公園内のゴミ箱が回収されておらず、ゴミ箱の外にゴミが溢れていた。また、コンビニエンスストアが近くにあるため、そこで売られていたと思われる商品の包装のゴミが多かった。（図4）



(図4) 屋代駅から更埴中央公園周辺のGoogleマップ

②屋代商店街組合の組合長さんの話を聞いて、毎朝屋代商店街のお店の方々がお店の前を掃除していることがわかった。そのため、ゴミが落ちていたとしても、長期間そこにあるということはないこともわかった。また、アダプトシステムを取り入れて、いつでも綺麗な状態を保てるようにしている。アダプトシステムとは、屋代駅前通り商店街の方々が年に5回ほど通りのゴミを協力して回収し、有限会社神津建築に回収してもらうシステムのことである。

③スポGOMI甲子園に参加してみて、人通りの多い長野駅付近にゴミが落ちていることが多かった。逆に、人通りの少ない細い道にはゴミは少なかった。しかし、細い道でも誰にも見つからないような垣根や草の生い茂った場所に落ちていることもあった。ゴミの種類は、瓶や缶などの特にアルコール類や、タバコの吸い殻が多かった。仮説に立てた通り、空き缶、タバコの吸い殻、ペットボトルなどのポイ捨てされることの多い種類のゴミを回収することでゴミがかなり減ると考えられる。また、ゴミがポイ捨てされている場所の一边にはゴミ箱が見当たらず、ポイ捨ての少ない場所はゴミ箱の設置数が多かった。

スポGOMIを自分たちの地域に活かすことで起こるメリットは、楽しみながら地域を綺麗にできるという点である。競技型にすることにより、普通のゴミ拾いよりも参加のやる気が高まり積極的に参加しやすくなる。また、近年は全国的に参加数が増えてきている。定期的な開催することで、継続的な地域美化活動に繋がる。デメリットとして、天候に左右されやすいという点がある。また、割れたガラスなどがある可能性があるため、安全面への配慮が欠かせないことも上げられる。

6. 提案

(1) 長野市の長野駅以北で開催されているスポGOMI甲子園のようなゴミ拾いを千曲市内や屋代高校でも実施する。実際に参加してポイ捨てされたゴミへ関心が高まったことから、実際のスポGOMI甲子園のルールを変えて年齢関係なくどんな世代の方でも参加可能にすることで、限られた人だけではなく、できるだけ多くの人にゴミ問題に関心を持ってもらうことができると考えられる。



スポGOMI甲子園の様子

一般財団法人 日本財団スポgomi連盟より

(2) 学校での活動として清掃活動を行う。毎日の掃除の時間などを利用して希望者もしくは各クラス数名の担当を決めて、屋代高校周辺などのエリアを分担し、捨てられたゴミを回収してもらう。そうすることで、生徒一人ひとりのゴミ問題の意識を高めることができ、それが地域にも広がっていくと考えられる。

7. 今後の課題

上記の2つの提案について以上の課題が挙げられる

(1) 千曲市と協力することでスポGOMIのような活動を開催できると考えられるが、まずは、屋代高校内で文化祭イベントとして屋代高校周辺の、ゴミを拾い、その種類や量で順位を決めるなどの企画を実施して効果を検証する。参加者のユニフォームや景品を用意するためには地元企業に賛同していただいて支援していただく必要がある。

(2) 生徒による地域の清掃活動については、まだ実施していないので、生徒会と協力して新企画として今後実施したい。ただし、放課後の班活動の時間に重なるので、実施については班長会との話し合いが必要である。

8. 引用・参考文献

https://www.spogomi.or.jp/zenkoku/tournament_nagano.html

スポGOMI甲子園長野県の様子

<https://www.env.go.jp/content/000209464.pdf>

環境省令和五年度「ポイ捨て」に調査報告書

あみだくじの数学と方程式

—あみだくじの交換を用いた五次方程式不可解性への試み—

研究者 2年1組9番氏名兼澤健真

1. 研究目的 (問題意識)

古典的に五次方程式が「一般には解けない」ことは知られている。しかしその証明はガロア理論に依存し、高度で抽象的である。本研究では、より直感的な置換操作であるあみだくじを用い、五次方程式の不可解性の理由に迫れるのではないかと考えた。

そこで次の仮説を立てた

仮説：「あみだくじに現れる置換の交換則を用いることで、五次方程式が代数的に解けないことを示せるのではないか」

3. 研究方法 (研究手法)

次のように検証を進めた：

(1). 少数本のあみだくじを用い実験

まず3本、4本、5本のあみだくじを対象とし、得られる要素の置換がどのような群構造を持つかを調べた。

(2). 群論的意味づけ

観察された置換集合が数学的にどの群に対応するかを整理した。

(3). 群の内部構造の比較

特に、得られた群が部分群や正規部分群に分解可能かどうかを調べ、「段階的に対称性が壊れるか」を検討した。

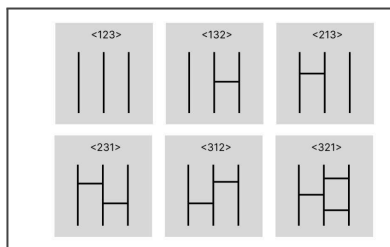
(4). 構造的性質と方程式の可解性の対応

最後に、置換の分解可能性が根号による解の構成可能性と対応することを考察し、仮説の真偽を検証した。

4. 実験

初めにあみだくじの要素が3つの場合について実験をした。

A. あみだくじの演算 要素数3のあみだくじにおいては、最終的な位置の変化は要素の置換として表現できる。このとき、取り得る全ての置換の数は $3!=6$ 通りであり、これは対象となる要素の順列の数と一致する。



(図1、あみだくじの演算)

この置換を演算として捉え、置換同士を順に適用することで得られる新たな置換を考える。

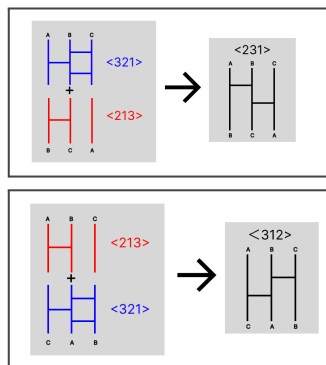
以下では、各置換を上から下への適用として定め、演算 * によって記述する。

B. 演算の結合

具体的な例として<213>と<321>を組み合わせたものを考える。

$$\langle 213 \rangle * \langle 312 \rangle = \langle 312 \rangle$$

$$\langle 213 \rangle * \langle 312 \rangle = \langle 312 \rangle \quad (\because \text{下図})$$



(図2,3 あみだくじの非可換演算)

このように、あみだくじの演算においては順序によって結果が異なることが確認され、交換法則が成立しないことが分かる。すべての演算においての結合を表にまとめた。それぞれの演算に対して<123>となる(元に戻る)逆演算が存在することが確認できる。また、この演算には交換法則が成り立たないことも分かった。(∴C)

C. 演算表

	<123>	<132>	<213>	<231>	<312>	<321>
<123>	<123>	<132>	<213>	<231>	<312>	<321>
<132>	<132>	<123>	<312>	<321>	<213>	<231>
<213>	<213>	<231>	<123>	<132>	<321>	<312>
<231>	<231>	<213>	<321>	<312>	<123>	<132>
<312>	<312>	<321>	<132>	<123>	<231>	<213>
<321>	<321>	<312>	<231>	<213>	<132>	<123>

(表1、三本あみだくじの全演算)

5. 群論的意味づけ

まずはこの要素の入れ替えと方程式が解を持つこととの関係や対応を示す。

(i) 多項式と解の関係

一般のn次多項式を考える

$$f(x) = x^n + a_{n-1}x^{n-1} + \dots + a_1x + a_0$$

この方程式がこの方程式が複素数体上でちょうどn個の根(重複許す) $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ を持つとする。この時

$$f(x) = \prod_{i=1}^n (x - \alpha_i) \quad \text{と表される。}$$

ここでは任意の置換(並べ替え)

$\sigma \in S_n$ に対し、

$$(\alpha_1, \dots, \alpha_n) \rightarrow (\alpha_{\sigma(1)}, \dots, \alpha_{\sigma(n)})$$

と根の順番を入れ替えたとしても、

$$\prod_{i=1}^n (x - \alpha_i) = \prod_{i=1}^n (x - \alpha_{\sigma(i)}) \quad \text{が成り立つ。}$$

よって $f(x)$ は置換に対して不変である。

これは多項式自体は根の並び順に依存しないことの厳密な数学的表現であり、係数を見ても、どの α_i が第1番目の解かは判別できない。(つまり、順序付けを行えない)。

多項式が規定するのは $\{\alpha_1, \dots, \alpha_n\}$ という集合であり、 $(\alpha_1, \dots, \alpha_n)$ という順序付きのデータではない。

したがって、多項式 の情報は、単なる並びではなく解の入れ替え操作全体 S_n に暗号化されていると考えられる。そしてこれは、要素の置換であるあみだくじの操作と一致する。

方程式を“解く”という操作は、解の置換によって崩れない式を見つけることと解釈できる。

より具体的には

- n 個の解 $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ に対して、
- 置換 $\sigma \in S_n$ を行っても値が変わらない式

を構成することで、解を表現できる。

(ii) あみだくじが作る群

- 群の公理

- (1) 集合が演算について閉じていること。
- (2) 任意の元に対して、結合法則が成り立つ。
 $(a*b)*c = a*(b*c)$
- (3) 単位元が存在する。 $a*e = e*a = a$
- (4) 任意の元に対して、その元に対する逆元が存在する。 $a*b = b*a = e$

表より、これらすべてを満たすことが確認できる。重要なのは、すべての S_n は「隣り合う交換」だけで作れるという点である。

数学的には

$$S_n = \langle (12), (23), \dots, (n-1n) \rangle$$

つまり、あみだくじの横棒=基本交換=群の生成元であり、

横棒を何本重ねて、どんな順番に並べても同じ操作は繰り返し現れ

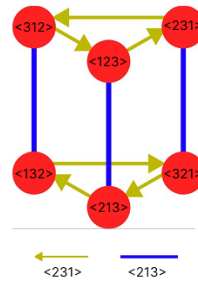
最終的に対称群 S_n 全体に到達する

ということになる。

(S_n は n 次方程式の解における置換の全体集合である。上記のあみだくじは S_3 に対応する。

6 対称群 S_3 の観察

群を考察するときに用いられる、要素と演算を繋げる (ここでは、演算が二つの意味を成す) 図であるケイリーグラフを用いる。



(図4, 3本あみだくじのケイリーグラフ)

これらの置換全体は対称群 S_3 と同型である。この群は非可換であり、6つの元を持つ。

以下では、 $\langle 123 \rangle = e, \langle 213 \rangle = (12)$ のように表す。(12) は一番目と二番目の要素の交換) なぜならば、要素の数が増えてきたときに対応が複雑になり、一つの置換を隣接交換と表記することで、一意に定められるメリットがあるためである。

次に、部分集合で群をなしている「部分群」を考える。 S_3 では元の数が少ないため、全ての部分群を明示的に列挙できる。

自明部分群

$$H_1 = \{e\}$$

二元部分群 (元が二つ)

$$H_2 = \{e, (12)\}$$

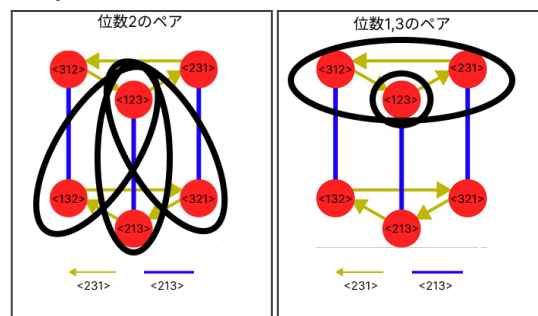
$$H_3 = \{e, (23)\}$$

$$H_4 = \{e, (13)\}$$

三元部分群

$$H_5 = \{e, (123), (132)\}$$

これに、 S_3 そのものを加えたものが、すべての部分群である。これをケイリーグラフに書き込むとこのようになる。



(図5, 6, 位数の異なる部分群)

(i) 正規部分群

正規部分群とは、部分群の中で

$$\forall g \in G, gHg^{-1} = H$$

を満たす集合である。

S_3 において、

$$\cdot H_1 = \{e\}$$

$$\cdot H_5 = \{e, (1\ 2\ 3), (1\ 3\ 2)\}$$

右の図(1, 3のペア) がこれに対応する。

7. S_4, S_5 への一般化

ここで、一般化を試みる。

要素の置換を S_n についても同様に適用すると、

$$S_n = \{\text{すべての置換の演算}\}$$

$$= \{(1\ 2), (2\ 3), \dots, (n-1\ n)\}$$

と表される。

これは n 本あみだくじが S_n を生成することを意味している。

(i) 交代群

任意の置換 $\sigma \in S_n$ は、2つの要素の交換($i\ j$)の積として表すことができる

$$\sigma = (i_1\ j_1)(i_2\ j_2)\cdots(i_k\ j_k)$$

ここで、 k が偶数の時 σ は偶置換、奇数の時に奇置換と呼ぶ。

この偶奇性は、要素の分解に依らず不変である。

以上を用いて、交代群 A_n を次のように定義する。

$$A_n = \{\sigma \in S_n \mid \sigma \text{ は偶置換}\}$$

・群になる理由

A_n は単なる集合ではなく、群をなす。実際、偶置換同士

の合成は偶置換 (偶数+偶数=偶数)

偶置換の逆元も偶置換 (逆操作は同じ回数の交換)

単位元 e は交換回数0回とみなせ、偶置換。

よって、群の公理を満たす。

元の個数については、

偶置換と奇置換は常に同数であるため

$$|A_n| = n! / 2 \text{ が成り立つ。}$$

(ii) S_3 における交代群

$$S_3 = \{e, (12), (23), (13), (123), (132)\}$$

このうち

(12), (23), (13)は交換1回 → 奇置換

(123)=(13)(12) → 交換2回 → 偶置換

(132) = (12)(13) → 偶置換

よって $A_3 = \{e, (123), (132)\}$ となる。

8. A_5 の単純性と構造的不可分解性

本節では、交代群 A_5 の構造的性質、特に単純性に注目し、それが五次方程式の一般不可解性とどのように結びつくかを論理的に明らかにする。

(i) 単純群の定義

群 G が単純群であるとは、正規部分群が $\{e\}$ と G 以外に存在しないことである。つまり、それ以上分解できる構造が存在しないということである。一般に、 A_5 が単純群だということは知られている。

これは、群を段階的に分解する構造が存在せず、中間的な構造も存在しない、群の内部対称性が完全に固定されているということを表している。

(ii) S_3, S_4 における構造

$$S_3 \triangleright A_3 \triangleright \{e\}$$

$$S_4 \triangleright A_4 \triangleright V_4 \triangleright \{e\}$$

いずれも、正規部分群における段階的分解が可能である。

しかし

$$A_5 \triangleright N \triangleright \{e\}$$

となる非自明の N が存在しない。

あみだくじにおいて

横棒1本=1回の交換

横棒の偶数回合成=偶置換= A_5

に対応していた。 A_5 の単純性は、あみだくじ的には次の意味を持つ。

偶数回交換のみからなる操作体系の中に、操作を分解して単純な操作群へ還元する方法が存在しない。すなわち、部分操作系に分けられない独立した操作ブロックが存在しない構造が一体化している。(=より小さな群集合が存在しない)

9. 代数方程式への接続

以上の議論を代数方程式に接続させる。

方程式の根 $\alpha_1, \dots, \alpha_5$ の置換群が A_5 を含むとき、解の対称性はこの構造を持つ。これは分解不可能であり、ゆえに対称性を段階的に壊す操作(根号操作の列)が存在しない。

なぜこれが方程式の解と繋がるのかを以下に示す

根号による解法とは、本質的には

$$Q \subset K_1 \subset K_2 \subset \dots \subset K_3 \dots \star$$

と、体を拡張していく操作である。

例として $x^2 = 2$ という方程式を考えると、

ここでは $Q \subset Q(\sqrt{2})$ という拡張(有理数の世界に、 $\sqrt{2}$ という無理数を導入する)が起こっている。

★について、群論的に対応付けると

$$G_0 \triangleright G_1 \triangleright G_2 \triangleright \dots \triangleright \{e\}$$

となる正規部分群列を作ることと一致する。これは段階的に群を分解するようなものである。

ここで、 A_5 はこれ以上分解することのできない群であった。

つまり、この集合に対して「分解する」つまり、これより下位の部分群列を作成することができないことが示されている。

∴一般の五次方程式が根号で解けないことが示された。

10. まとめ、考察

本研究では、身近な遊びである「あみだくじ」を出発点として、置換・群・方程式論へと発展する数学的構造を探究した。

まず、あみだくじの操作を「要素の置換の演算」として扱うことで、それらが対称群 S_n を構成することを示した。特に S_3 においては、非可換性 逆元の存在、単位元の存在、ケイリーグラフによる構造の可視化を通じて、群としての性質を具体的に理解することができた。

さらに、交代群 A_3 に着目することで、部分群・正規部分群という高度な概念も、実例を通して自然に導入できた。また、方程式の解と置換群との関係から、「方程式を解くとは、解の置換に対して不変な構造を見つけることである」というガロア理論の基本思想を扱うことができた。

これより、初めの仮説は概ね正しかったと言えるが、あみだくじに限らず「置換の構造」が法手式の可解性における本質を司っていたと結論付けた。

今回の研究を通して、逆に A_5 を除いたような特殊な五次方程式では、解を持つことができるのではないかと新たな考察が生まれた。高次の可換方程式を作るためには、置換を制限することが有効なのではないかと感じたため、来年の研究ではその点を課題としていく。

1 1. 参考文献、引用

結城浩:数学ガール ガロア理論, 2012, ソフトバンククリエイティブ株式会社

小林雅人:あみだくじの数学, 2011, 共立出版

雪江 明彦:代数学1-群論入門, 2023, 日本評論社

マインスイーパーは論理だけでどこまで解けるのか

— 基本解法パターンによる検証 —

研究者 2年1組24番 氏名堀琥太郎

1. 研究目的 (問題意識)

マインスイーパーは、盤面上の数字から地雷の位置を推理し、安全なマスを開いていく論理パズルである。一見すると論理的思考のみで解けるゲームに見えるが、実際にプレイすると「どちらが地雷か論理的に判断できない状況」が発生することがある。

本研究では、マインスイーパーを長くプレイしてきた経験を活かし、人間が用いる代表的な論理解法パターン (法則) を整理・分類する。そして、それらの法則のみを用いた場合、上級難易度においてどこまでゲームを進行できるのかを実験的に検証することを目的とする。

本研究の目的は以下の3点である。

- 1 マインスイーパーにおける代表的な論理解法パターンを整理・紹介する
- 2 それらの論理解法のみを用いて上級難易度をプレイし、詰みが発生するかを調べる
- 3 詰みが発生する場合、その原因を論理的に考察する

2. 現状 (先行研究の分析)

(1) マインスイーパーに関する既存研究

マインスイーパーは単なるゲームであるが、その論理構造の複雑さから、情報科学や数学の分野において研究対象とされてきた。先行研究では、盤面の数字を制約条件として扱い、地雷の配置問題を論理充足問題や制約充足問題として定式化できることが示されている。

また、マインスイーパーの一般化された問題は計算量理論の分野において非常に難しい問題であることが知られており、すべての盤面を論理的に解くためには膨大な計算が必要となることが指摘されている。

(2) コンピュータによる解法研究

コンピュータを用いた研究では、以下のような手法が提案されている。

- ・数字の条件を数式として扱い、矛盾のない地雷配置を列挙する方法
- ・すべての可能な配置を仮定し、安全なマスを特定する全探索的手法
- ・論理で確定できない場合に、確率的に最も安全なマスを選択する手法

これらの方法は、人間の直感的な解法を大きく超える性能を示すが、高度なプログラミングや計算資源を必要とする。

(3) 人間による解法研究の現状

一方で、人間が実際に用いる解法に関する研究や体系的な整理は、コンピュータ解法と比較して少ない。一般的には、経験的に知られている配置パターン (1-1、1-2-1 など) がプレイヤー間で共有されているが、それらを論理的手法として体系化し、どこまで有効かを検証した研究は多くない。

特に、上級難易度において、人間の論理解法のみでどこまで進行可能か、またどのような条件で推測が必要になるのかについては、明確な実験的検証が十分に行われていないのが現状である。

(4) 本研究の位置づけ

以上の先行研究と現状を踏まえると、マインスイーパーに関する研究は、主にコンピュータによる最適解探索に重点が置かれてきたと言える。これに対し本研究は、人間が実際に用いる論理解法パターンを整理・分類し、それらのみを用いた場合の限界を上級難易度の実験を通して検証するという点に特徴がある。本研究は、人間の論理的思考とゲーム構造の関係を明らかにする試みとして意義があると考えられる。

3. 研究方法 (研究手法)

(1) 「論理だけで解く」の定義

本研究では、「論理だけで解く」とは以下を満たすものと定義する。

- ・数字と周囲の未開マスの関係から、必ず地雷、または必ず安全であると断定できるマスのみを操作する。
- ・確率的判断や勘、経験則による推測は行わない

(2) 使用環境

- ・ゲーム: マインスイーパークラシック: レトロ
- ・難易度: 上級16×30マス、地雷99個
- ・記録方法: スクリーンショットおよびエクセルの表

(3) 実験方法

- ① 上級難易度でゲームを開始する
 - ② 第1手以降、(5)で示した論理解法パターンのみを使用して進行する
 - ③ 論理的に安全・地雷を確定できなくなった時点を「詰み」と定義する
 - ④ 詰みが発生した盤面を記録し、分類する
 - ⑤ これを複数回繰り返す
- 試行回数: 上級難易度100回

(4) 詰みの定義と分類

本研究では、マインスイーパーにおいて論理解法のみでは次の一手を一意に定められない状態を「詰み」と定義し、その原因に基づいて以下の5種類に分類した。

① 二択型

ある未開マスについて、「地雷である場合」と「安全である場合」の2通りのみが成立し、どちらも論理的に否定できない状態。

② 多重解型

盤面全体を満たす地雷配置が2通り以上存在し、いずれも条件を満たしているため解が一意に定まらない状態。

③ 対称型

盤面の構造が左右・上下などに対称になっており、複数の配置が完全に同等な条件で成立してしまう状態。

④情報不足型

未開マスの周囲に数字がほとんど存在せず、論理的推論に必要な情報自体が与えられていない状態。

⑤複合型

二択型・多重解型・情報不足型などが同時に存在し、単一の原因に分類できない状態。

(5) 論理解法パターン

ここには、論理解法パターンの一部を乗せておく。

論理解法パターン(一部)

パターン名	概要	利点
1-2-1	地雷が必ず1の上に来る	地雷の位置が確定する
1-2-2-1	地雷が必ず2の上に来る	地雷の位置が確定する
壁1-1	壁から3マス目が必ず開く。	地雷の位置が2択に絞られる

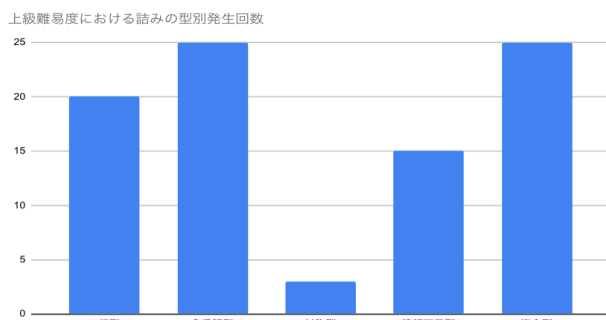
マインスイーパーには多数の解法パターンが存在するが、本研究ではすべてを扱うのではなく、実験結果と関係の深い代表的なもののみを示した。その他の解法については参考文献のサイトに詳しくまとめられている。

4. 結果

(1) 詰みの発生状況

本研究では、上級難易度において100回の試行を行った結果、論理解法のみでクリアできたのは12回であり、残りの88回では論理的に判断不能な局面(詰み)が発生した。この結果から、マインスイーパーは論理的推論を多く必要とする一方で、上級難易度では論理のみでは解き切れない盤面が多数存在することが明らかとなった。詰みとなった88回を原因別に分類したところ、グラフ1のようになった。

グラフ1 上級難易度における詰み型別発生回数



グラフ1によると、二択型が20回、多重解型が25回、対称型が3回、情報不足型が15回、複合型が25回であった。この内訳から、単純な二択による詰みは全体の一部に過ぎず、より複雑な構造を持つ詰みが多数を占めていることが分かる。特に、多重解型

と複合型はいずれも25回と最も多く、合わせて全詰みの半数以上を占めている。多重解型は、盤面に明確な対称性が存在しなくても、条件不足によって複数の地雷配置が成立してしまう詰みである。一方、複合型は二択や多重解、情報不足などが同時に発生している局面であり、盤面全体の構造が複雑であることが特徴である。この結果から、上級難易度における詰みの主な原因は、局所的な判断ミスや単純な選択の問題ではなく、盤面構造そのものの複雑さにあると考えられる。

また、情報不足型が15回確認されたことから、数字が少ない領域では、そもそも論理的推論に必要な情報が与えられていない場合があることが分かる。このような詰みは、盤面生成の初期段階で生じるものであり、プレイヤーの能力とは無関係に発生する点の特徴である。対称型は3回と発生頻度は低かったが、一度発生すると完全に論理的判断が不可能になる点で重要である。ランダム生成の盤面では完全な対称構造が生じにくいいため回数は少ないものの、詰みの代表的な例として研究上の意義は大きい。

以上の結果から、マインスイーパー上級難易度において論理のみで詰む主な要因は、単純な二択ではなく、複数の解が同時に成立する多重解構造や、それらが重なり合った複合的な盤面構造であることが明らかになった。このことは、No Guessing モードにおいて詰みが発生しない理由を説明するものであり、盤面生成の段階で解が一意に定まるよう設計することの重要性を示唆している。

5. 考察

実験の結果、上級難易度においては、既存の論理解法パターンを用いても、論理的に判断不能な局面が発生することが確認された。これは、盤面の情報が不足しており、複数の地雷配置が同時に成立してしまうためである。このような局面では、人間は確率や経験に基づく推測を行わざるを得ない。一方、コンピュータによる解法では、全ての可能な配置を仮定し、矛盾の有無を調べることで解を求めることができる。この点から、人間の論理解法には情報量の制約による限界が存在すると考えられる。

6. 自分の提案

本研究を通して、マインスイーパーでは多数の論理解法パターンを用いても、上級難易度においては論理的に判断不能な局面が発生することが確認された。これらの局面では、複数の地雷配置が同時に成立してしまい、追加情報が得られないことが原因である。そこで本研究では、論理的に解ける局面を増やすための盤面生成に関する提案を行う。

(1) 局所的に情報が不足する配置の回避

詰みが発生した盤面を分析すると、以下の特徴が多く見られた。

- ・数字が少ない領域の端で未開マスが連続している
- ・2つ以上の配置が完全に対称となり、論理的に区別できない
- ・未開マスが2〜3個だけ残り、どちらも同じ条件を満たす

これらは、盤面生成の段階で「局所的に情報が不足する配置」が生じていることを示している。提案として、盤面生成時に、「ある領域において、必ず1つ以上の論理的確定マスが存在する」という条件を満たすよう制約を加えることで、推測を必要とする局面を減らせると考えられる。

(2) 人間の論理解法パターンを考慮した盤面生成

No Guessing モードの盤面では、常に論理的に確定できるマスが存在する。一方で、通常モードでは人間が認識しやすい論理解法パターン（1-2-1、2-3-2 など）が成立しにくい配置が現れる。

そこで、人間が実際に用いる代表的な論理解法パターンを盤面生成アルゴリズムに組み込むことで、

- ・論理的思考を促進する
- ・完全な運ゲーを回避する
- ・初心者から上級者まで楽しめる難易度調整が可能になると考えられる。

7. 今後の課題

本研究では限られた試行回数で実験を行ったが、より多くの試行を行うことで、詰みの発生率や傾向をより正確に把握できると考えられる。今後は、数百回規模の試行を行い、統計的な信頼性を高める必要がある。

また、詰み局面を主に定性的に分析したが、今後は以下のような観点での分類が考えられる。

- ・未開マスの数
- ・関与する数字の種類
- ・盤面の端・中央の違い
- ・対称性の有無

これにより、どのような条件で論理が破綻しやすいかを、より体系的に明らかにできる。

本研究では論理的推論のみに注目したが、実際のプレイでは確率的判断が用いられることが多い。今後は、

- ・論理のみ
- ・確率を併用
- ・完全ランダム

といった複数の解法を比較し、それぞれの成功率やクリア率を分析することで、人間の意思決定の特徴をより深く理解できると考えられる。

さらに、コンピュータによる全探索や制約充足問題（CSP）としての解法と、人間の論理解法を比較することで、人間の推論の強みと限界を明確にできる可能性がある。

8. 引用・参考文献

1) P助の Minesweeper 塾

<https://www5.hp-ez.com/hp/minesweeper/top>

2) ウィキペディア Minesweeper

https://en.wikipedia.org/wiki/Minesweeper_%28video_game%29?utm_source=chatgpt.com

内外逆転変身図形の応用

～探査機を変身させる～

研究者 2年1組 4番今井奈緒
2年1組15番下村佳宝
2年1組23番古旗采和
2年4組25番塚田望生

1. 研究目的

JAXAの月面探査機slimに搭載された「sora-Q」についてのお話を伺った時、どうやって繊細な探査機を変身させているのか興味を持ち、探究を始めた。現在、宇宙における変身方法として、折り紙の利用が最も有名な方法の1つである。例としてミウラ折りが挙げられる。これは携帯性や利便性が高く、宇宙以外でも利用されている。ミウラ折りは、大きな平面を小さく折りたたみ、瞬時に開くことが可能なため、軽量化や効率化の面で優れている変身方法である。よって、これとは別のアプローチの仕方考えた結果、内外逆転変身図形に注目することにした。

この研究では、内外逆転変身図形の規則性と方法を考察し、2次元の内外逆転変身図形を3次元に応用することを目指す。また、先行研究より、現在2次元で2つの図形に内外逆転変身させることは可能であるため、3つの図形に内外逆転させることを目指す。最終的には、3次元に応用した図形を利用し、様々な形に変身させることのできる探査機の模型を実際に作ることを目標とする。

2. 現状

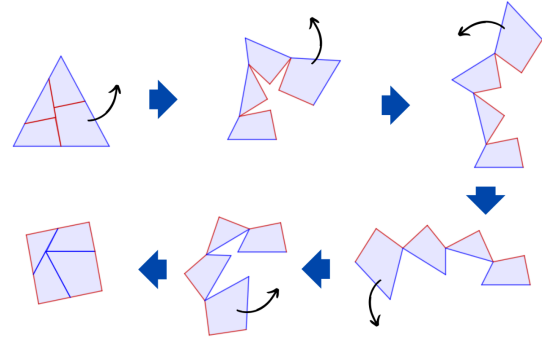
(1) 探査機のニーズについて

元JAXA理事の山浦雄一教授にメールで話を伺ったところ

- ①近年の宇宙探査業界では、特に「軽量化」に力を入れて開発が行われている。リスクを考慮し、一度に費用をかけ過ぎないようにしている。
 - ②生命体の可能性がある惑星や衛星は探査の需要が高い。
 - ③太陽系内の生命の可能性がある天体はほとんど多くのパターンの地形を持つ
- ということであった。

以上3点を踏まえ、軽量化という探査機のニーズをクリアした上で、生命の可能性があるさまざまな地形が存在する天体を探査できる探査機を設計する必要がある。さまざまな地形に対応する探査機を制作することに対して、環境によって内外逆転できる探査機を作る方法の1つとして、内外逆転変身図形の利用を検討する。

(2) 内外逆転変身図形について(先行研究)



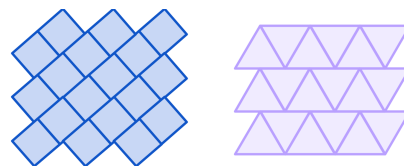
(図1) 正三角形⇄正方形の内外逆転変身

【内外逆転変身図形とは】

ある図形 α とある図形 β が内外逆転変身可能とは、 α を有限個の断片に切り分け、各断片の適当な頂点に蝶番をつけ、断片をチェーン状に繋ぎ、端の断片を固定し、一方向に巻き付けると α になり、逆方向に巻き付けると β になることである。ただし、 α や β を切り分けるとき、その分断線はどの頂点も通らないものとし、内外逆転後、 α の辺は完全に β の内部に隠れ、 β の辺は α の内部だけから構成されていることとする。例えば、正三角形と正方形の内外逆転変身は(図1)に示されているような分断線および内外逆転によって行われる。

【タイル定理】

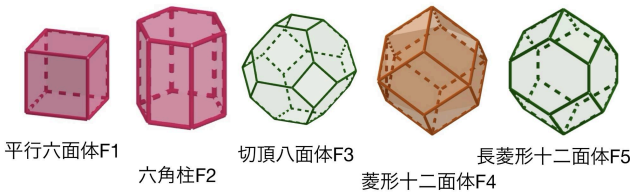
α と β が内外逆転変身可能ならば、 α も β も 180° 回転と平行移動によってタイル張り可能である。



(図2) 正方形と正三角形のタイル張り

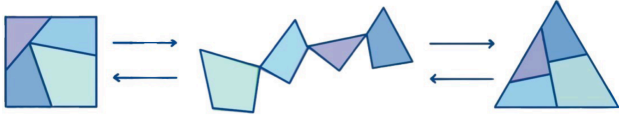
【平行多面体変身定理】

5種類の平行多面体(平行六面体 F_1 (直方体や立方体を含む)、斜六角柱 F_2 (直六角柱を含む)、切頂八面体 F_3 、菱形十二面体 F_4 、長菱形十二面体 F_5)のどの2つの族も相互に表裏逆転変身可能である。ここに F_i が F_j に表裏逆転変身可能とは、 F_i のある直平行多面体を辺を通らない分断面で有限個の断片に切り分け、蝶番をつけて、チェーン状に繋ぎ、回転させると表裏が逆転して F_j のある直平行多面体を得られることである。ここに、直平行多面体とはある直交座標系のいずれの軸に関して対称であることである。(図3)では、 $F_1 \sim F_5$ から、それぞれ1つの例の多面体を示した。



(図3) 5種類の平行多面体

【デュードニーのパズル】



(図4) デュードニーのパズル

デュードニーのパズルとは、ヘンリー・デュードニーが提起した「正三角形をできるだけ少ないピースに切り分けて正方形に変身させる」問題のことである。この問題は、2024年に3ピース以下では不可能であると証明された。本研究では、最少の4ピースでの内外逆転変身とその分断線をデュードニーのパズルと呼ぶ。

3. 仮説

- (1) 2次元において、3つの図形に内外逆転変身させることは可能である。
- (2) 3次元において、2次元で導いた図形を変身させる方法を用いて、2つの立体に変身させることは可能である。

4. 研究方法

- ・内外逆転変身図形の規則性と作成方法を考える
- ・内外逆転変身図形ができる3次元図形を実際に作る
- ・2次元で導いた図形の変身方法を応用し、3つの図形に内外逆転変身できる図形について考察する

これらを発展的な形で応用し、探査機をデザインする

5. 結果・考察

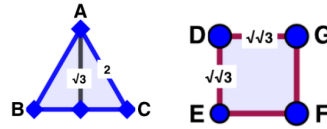
(1) 平面上でのデュードニーのパズルの線分の作図方法

昨年度の研究では、デュードニーのパズルを内外逆転変身図形と解釈し、図形の性質を理解するために、なぜ正三角形⇔正方形の内外逆転変身は成立するのかについて研究した。しかし、今年度の研究を行うにあたって先行研究を調べたところ、似たような研究が見つかった。しかしながら、自ら行った研究は既存研究が示していない作図方法を検討した点において独自性があるため、ここでは先行研究としてではなく研究結果として掲載する。

まず、正三角形を四角形に変身させるための分断線はわかっている。よって、変身後の図形が正方形であることを示したい。

正三角形ABCの一辺の長さを2とする

正三角形ABCの高さは、三平方の定理より $\sqrt{4-1}=\sqrt{3}$
 \rightarrow 正方形の面積=正三角形の面積= $\sqrt{3}$
 \Rightarrow 正方形DEFGの一辺の長さ= $\sqrt{\sqrt{3}}$
 よって正方形の1辺の長さは $\sqrt{\sqrt{3}}$ である。



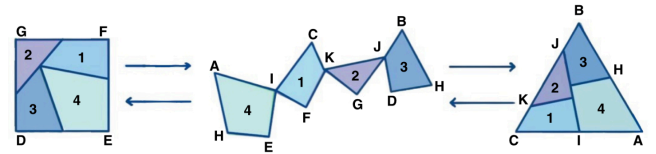
(図5) 等しい面積の正三角形、正方形

$GD=FE=\sqrt{\sqrt{3}}$ より、 $GD+FE=2\sqrt{\sqrt{3}}$
 よって、次図中心の図において
 $EI+IF=\sqrt{\sqrt{3}}$ 、 $GI+ID=\sqrt{\sqrt{3}}$

したがって、 $EI+IF+GI+ID=2\sqrt{\sqrt{3}}$
 正三角形において
 $EI+IF+GI+ID=2JI$ である。

これにより、 $JI=\sqrt{\sqrt{3}}$ となる。

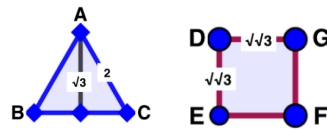
IはCAの midpoint であるため、 $\sqrt{\sqrt{3}}$ の作図ができればデュードニーのパズルは作図できる。よって $\sqrt{\sqrt{3}}$ の作図方法を考えた。



(図6) デュードニーのパズル

(以下の図形におけるA~0はこれまでにでてきたものとは別とする)

先ほど述べたように、正三角形の1辺(AB, BC, CA)を2とおくと、正三角形と正方形の面積は等しくなるため正方形の1辺(DE, EF, FG, GD)は $\sqrt{\sqrt{3}}$ である。

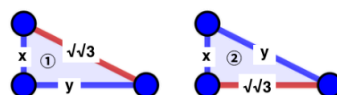


(図7) 等しい面積の正三角形、正方形

内部線の最大値(三角形ABCにおいて)は $\sqrt{3}$ であるため、次図において定数xの範囲は

$$x < \sqrt{3} \quad x^2 + y^2 = \sqrt{3} \quad \text{or} \quad x^2 + \sqrt{3} = y^2$$

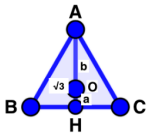
$\sqrt{\sqrt{3}}$ を作図するためには、次図のどちらかの直角三角形が作図できれば良い。(斜辺どちらかにxかyを置かなければならないが、ここにおいてx、yのどちらであるかは影響しないため、ここではyを斜辺に置く)



(図8) 斜辺が $\sqrt{\sqrt{3}}$ 、yの直角三角形

点Aから直線BCに垂直な線を引き、BCとの交点をHと置く。AH上に任意の点Oを置いて、AO=定数b、OH=aとする。

AHは三角形ABCの高さであるため、
定数a+定数b= $\sqrt{3}$

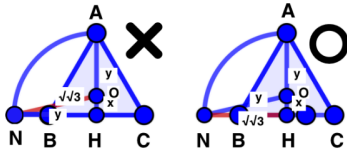


(図9) AH上にOを置いた三角形ABC

$a+b=\sqrt{3}$ であるため、 $a^2+b^2=\sqrt{3}$ にはならない。

よって、 $x^2+y^2=\sqrt{3}$ であり、かつx、yのどちらもAH上にある時、直角三角形の斜辺以外の2辺をx、yにすることはできない。

→斜辺にx、yのどちらかを置く必要がある。



(図10) $ON=\sqrt{\sqrt{3}}$ の三角形ABC、 $HN=\sqrt{\sqrt{3}}$ の三角形ABC

斜辺にyを置くと、

$$x^2+(\sqrt{\sqrt{3}})^2=y^2$$

$$\text{整理すると、} x^2 - y^2 = (\sqrt{\sqrt{3}})^2 = \sqrt{3} \dots \textcircled{2}$$

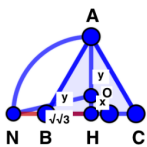
$$\text{また、} x+y=AH=\sqrt{3} \dots \textcircled{1}$$

$$\textcircled{1} \text{より、} y=\sqrt{3}-x, \text{ 代入して } x^2 - (\sqrt{3}-x)^2 = \sqrt{3}$$

$$\text{整理すると、} 2\sqrt{3}x = \sqrt{3}+3, x = \frac{3+\sqrt{3}}{2\sqrt{3}}$$

$$\text{有理化すると、} \frac{\sqrt{3}+1}{2}, y = \sqrt{3} - \frac{\sqrt{3}+1}{2} = \frac{\sqrt{3}-1}{2}, (x, y) = (\frac{\sqrt{3}+1}{2}, \frac{\sqrt{3}-1}{2})$$

これを三角形ABC上にとる方法を考える。

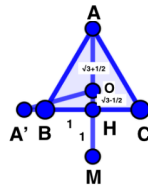


(図11) $HN=\sqrt{\sqrt{3}}$ の正三角形ABC = (図10)の右図

$$\frac{\sqrt{3}+1}{2} - \frac{\sqrt{3}-1}{2} = 1, \text{ 移項して } \frac{\sqrt{3}+1}{2} = 1 + \frac{\sqrt{3}-1}{2}$$

よって、HからAの反対方向に1だけ延長した点をMとすると、 $AO=OM$ である。よって、OMの中点を利用すれば $AO=\frac{\sqrt{3}+1}{2}$ と $OH=\frac{\sqrt{3}-1}{2}$ を作図することができる。

→Oを軸点にしてBC上にOAの長さと同じA' を置く。

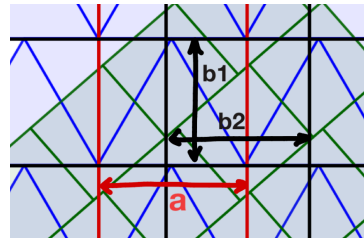


(図12) M、A' を置いた正三角形ABC

ここにおけるA' Hは $\sqrt{\sqrt{3}}$ である。

これにより、デュードニーのパズルは実際に作図可能である。

(2) 2次元における3パターンの内外逆転変身の検討
タイル張りから新しい図形の分断線を考えた。



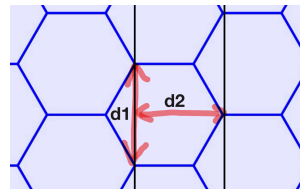
(図13) 正三角形と正方形の相互のタイル張り

デュードニーのパズルを相互にタイル張りした(図13)において、1つ前の正方形から次の正方形までの距離を周期とし、縦の周期をb1、横の周期をb2とする。正三角形を縦の周期をb1に合わせて配置し、そのときの正三角形の横の周期をaと置く。この時、b2とaが等しくなければ正方形の内部の切断線の模様が正方形ごとに変ってしまうため、内外逆転ができないと考えられる。よって、次のことが成り立つと考える。

★二つの図形のうち、一方の図形の縦の周期をb1、横の周期をb2とする。もう一方の図形を縦の周期がb1と等しくなるように傾けて配置した時のその図形の横の周期をcとすると、 $b2=c$ でないとその2つの図形間では内外逆転できない。

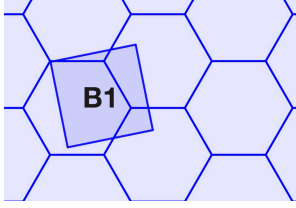
正多角形は面積等が考えやすいため、まず正多角形で内外逆転できるものを考える。タイル張りができる正多角形は、正三角形、正方形、正六角形の3種類である。デュードニーのパズルより正三角形から正方形への内外逆転変身は可能。したがって、3パターンでの図形の内外逆転を、正六角形から正方形への内外逆転変身から検討する。

タイル張りして固定しておく方の図形をA、その上からタイル張りしていく図形をBとする。図では例としてAを正六角形、Bを正方形としている。正六角形の縦の周期をd1、横の周期をd2とする。



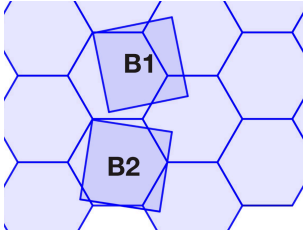
(図14)六角形のd1とd2

正六角形のようにタイル張りをした時に列が作れる場合、Bを適当に置き(B1とする)、



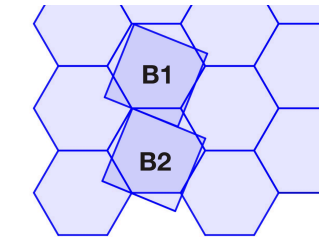
(図15)六角形のタイル張りに正方形B1を配置

そこからd1だけ下の位置に次の図形(B2)を置き、



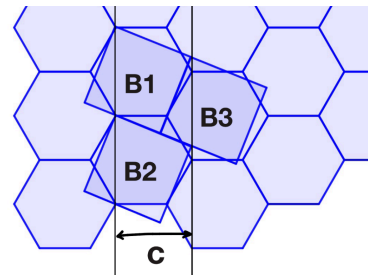
(図16)B2を配置

その点をB1の辺が通るようにB1を傾け、角度を定める。



(図17)B1、B2の傾きの決定

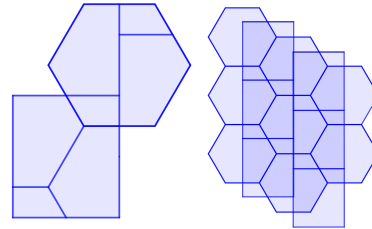
B1, B2に合わせて敷き詰めるように、B1の隣にB3を置く。B1の左上の点とB2の左上の点を通る直線と、その直線に平行でB3の左上の点を通る直線の距離をcとする。



(図18)B3、cの明示

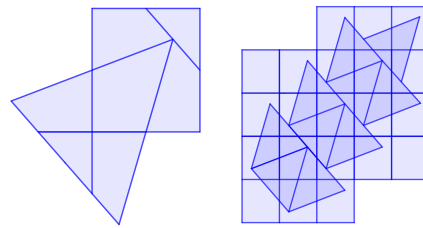
計算すると、正六角形と正方形ではd2とcが等しくなるため、★の条件を満たす。しかし、このようにしたとき、B1の左上の頂点は正六角形の頂点上にあるのに対し、B3の左上の頂点は正六角形の頂点上にないため、すべての正六角形の内部に同じ切断線を引くことができない。よって、正六角形と正方形の内外逆転変身は不可能である。

よって、正多角形同士ではない図形の内外逆転変身として、正六角形から長方形への内外逆転変身を考えた。長さが等しい辺の数が偶数でなければならないので、辺の中点を取ることで等しい長さの辺を2個作成し、全体の辺の数も偶数にする。また、変身後の図形を長方形にするためには、六角形の内部に分断線による直角を作らなければならない。これらに従って作図を行うと(図19)のような内外逆転変身が可能である。この2種類の図形は相互にタイル張りが可能である。ただし、正六角形から長方形への変身方法は(図19)のみではない。



(図19)正六角形⇄長方形のタイル張り(2種)

正六角形によってできた長方形も同じように変形できる。辺の中点を取り、それらを結ぶことで三角形に内外逆転変身させるための分断線を作成することができる。これも同じようにタイル張りが可能である。



(図20)長方形⇄三角形のタイル張り(2種)

その結果、正六角形⇄長方形⇄三角形の3パターンでタイル張りおよび内外逆転が可能であることを発見した。

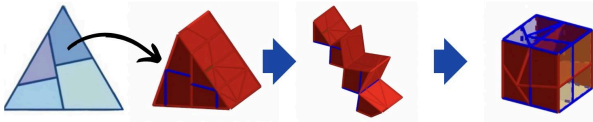
よって、3パターンの図形の内外逆転変身は可能である。ただし、すでに研究途中で正三角形⇄正方形⇄六角形の3パターンでも内外逆転変身が可能であることを発見している。そのため、この特定の長方形や三角形を用いる以外の3パターンの内外逆転変身も考察の対象とすることができる。

(3)3次元における内外逆転変身図形についての検討

先行研究【平行多面体定理】などでは展開図から3次元における内外逆転変身図形を考察しているが、この研究では立体そのものからのアプローチとして、デュードニーのパズルを応用する方法を検討した。

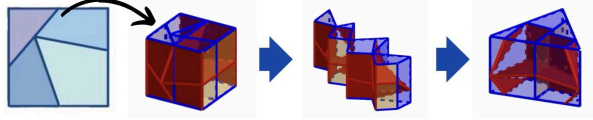
先行研究よりすでに内外逆転変身可能かつ(1)より作図可能である正三角形から正方形への内外逆転変身を利用して、3次元に應用する方法を考える。

立方体と、その高さが等しい三角柱の内外逆転変身を検討する。三角柱の正三角形の面に分断線を描き、内外逆転させる。



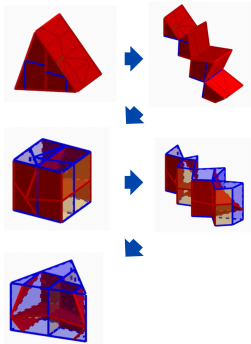
(図21) 分断線の転記、内外逆転変身(三角柱⇄立方体)

その後、できた立方体に同じように分断線を描き、内外逆転変身させる。



(図22) 分断線転記、内外逆転変身(立方体⇄三角柱)

この方法で最終的に生じた三角柱は、最初の三角柱が内外逆転したものになる。



(図23) 補足動画③画像ver

6. 結論

本研究では、内外逆転変身図形の周期条件を整理し、2次元における3パターンの内外逆転変身の可能性と、内外逆転変身図形を3次元へ応用する方法を示した。

内外逆転変身図形における先行研究は数多く存在するが、この研究の独自性は、既存の内外逆転変身の理論を整理するだけでなく、

- ①相互のタイル張りからの内外逆転変身の検討
- ②タイル張りの周期条件からの内外逆転変身の検討
- ③2次元での内外逆転を3次元へ応用する手段の検討を行った点にある。

7. 提案

(1) 探査機への応用

3次元の内外逆転変身図形を使う事で、2パターンの環境に対応できる探査機を設計することができる。例えば、片方は熱に強い素材で覆い、もう一方は水に強い素材で作るなどだ。内外逆転変身図形を用いることによって、従来2つの目的を果たすためには2つの探査機や機器を必要としていたが、1つの探査機で対応可能なため、より軽量でより低コストな探査機を製作することができる。

(2) 探査機以外への応用

立体の内外逆転は探査機だけでなく、環境サンプルの採取にも利用することができる。例えば河川的环境

サンプルの採取だ。一面は水の流れによる衝撃や浸水に強い素材で作られ、もう一面には高感度センサーを配置することで、より多様なサンプルを採取することができるだろう。

このように、立体の内外逆転は探査機以外にも広く利用することができる。しかし、現在立体での内外逆転は2度の動作が必要なため、どのような形で実用化できるかについては今後更なる検討が必要である。

8. 今後の課題

立体の内外逆転変身を一度の動作で行えるようにしたい。現状では平面の内外逆転を立体の異なる向きに用いて立体の内外逆転をさせているが、この場合二度の動作が必要である。一度の動作で完結させることで、応用の幅が広がっていくと予想できる。

また、実際に内外逆転を用いた機器を設計していきたい。さらに、探査機に限らず日常で応用できる方法を探していきたい。

9. 引用・参考文献

- 1) 秋山 仁, 「美の背後に潜む数理」, 日本数学会『数学通信』第17巻第2号, 2017年
<https://www.mathsoc.jp/publication/tushin/1702/1702akiyama.pdf>
(最終閲覧日: 2026年1月)
- 2) J. Akiyama and G. Nakamura, “Determination of All Convex Polygons which are Chameleons – Congruent Dudeney Dissections of Polygons”, IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Vol. E86-A, No. 4, pp. 978-986, 2003.
<https://www.researchgate.net/publication/286780041>
(最終閲覧日: 2026年1月)
- 3) J. Akiyama and G. Nakamura, “Congruent Dudeney Dissections of Triangles and Convex Quadrilaterals – All Hinge Points Interior to the Sides of the Polygons”, Algorithms and Combinatorics, Vol. 25, pp. 43-73, 2003.
<https://www.researchgate.net/publication/268893293>
(最終閲覧日: 2026年1月)
- 4) 森村 亮 (morm-e), 「デュードニー分割の作り方」
<https://www20.big.or.jp/~morm-e/puzzle/columns/003/>
(最終閲覧日: 2026年1月)

10. 謝辞

探査機のニーズに関しての質問にお答えいただいた
山浦雄一教授、3次元モデルの作成をしていただいた宮
澤希成君、本研究にご協力いただいたすべての皆様に
感謝いたします。

虚二次体整数環上の底と仮数を持つ記数法が一意性と完全性を満たす条件の解明

— 見えてきた仮数の必勝法 —

研究者 2年1組28番 氏名 宮澤 希成

1. 研究目的

2年前から、底や仮数が複素数である位取り記数法について研究してきたが、既知の記数法の性質を調べるに留まっており、 n 進法を考えるように、一般の底について完全かつ一意な記数法を考えることはできなかった。本研究では虚二次体の整数環の元を底や仮数(各桁に入れることができる数)とする記数法が完全性、一意性をもつ条件の解明を目指す。

2. 現状

(1) 仮数の個数について

複素数の位取り記数法について研究している文献はあまり見つからなかったが、以前の私の研究では、ガウス整数などの整数環を一意かつ完全に表記する記数法の仮数の個数は、底の絶対値の2乗個ではないかと示唆された。

(2) 虚二次体の整数環における余りつき除算

底の変換方法などにも現れるように、位取り記数法は余りつき除算と関係が深い。参考文献[2]はガウス整数環における余りつき除算を定義し、考察するものである。具体的には、関数ガウス整数 a, b について、 a を b で割った余り $a \% b$ を $a \% b = b \left(\left\{ \text{real} \left(\frac{a}{b} \right) \right\} + i \left\{ \text{imag} \left(\frac{a}{b} \right) \right\} \right)$ と定義することで(波括弧は小数部分を表す)、余りが一意的に定まり、複素平面上の点 $0, b, ib, (1+i)b$ の4点を頂点とする正方形のうち、点 $b, (1+i)b$ および点 $ib, (1+i)b$ を結ぶ辺を除いた領域にあるガウス整数を取る。また、これはドナルド・クヌースの切り下げ除算の拡張である。本研究ではこの定義を参考に、一般の虚二次体の整数環における定義を行った。

3. 研究方法

命題1~10を証明することで、一意性と完全性をもつ記数法の性質、及び、それらを調べるための余りに関する基礎的な定理も示す。これらは一意性や完全性への必要条件となるだろう。

命題11・12では、その知見を活かし、逆に記数法が一意性や完全性を持つ条件を考える。

4. 結果

はじめに、本論文で用いる記法や用語を定義する。

a. 虚二次体 $\mathbb{Q}(\sqrt{d})$ について、

$$\omega_d = \begin{cases} \sqrt{d}, & \text{if } d \equiv 2, 3 \pmod{4} \\ \frac{1+\sqrt{d}}{2}, & \text{if } d \equiv 1 \pmod{4} \end{cases} \text{ と定める.}$$

このとき、 $\mathbb{Q}(\sqrt{d})$ の整数環について、

$$\mathcal{O}_{\mathbb{Q}(\sqrt{d})} = \mathbb{Z} + \omega_d \mathbb{Z} \text{ 本論文では常に } d < 0 \text{ とする.}$$

b. 複素数 $a = x + y\omega_d$ ($x, y \in \mathbb{Z}$) について、

$x = \text{Re}_d(a)$, $y = \text{Im}_d(a)$ と定める。これらの値は一意に定まる。

c. $x \in \mathbb{R}$ の小数部分を $\{x\}$ と表す。 $\mathcal{O}_{\mathbb{Q}(\sqrt{d})}$ における a を b で割った余りを $a \%_d b = b \left(\left\{ \text{Re}_d \left(\frac{a}{b} \right) \right\} + \omega_d \left\{ \text{Im}_d \left(\frac{a}{b} \right) \right\} \right)$ と定める。

d. ある d について、底が $z \in \mathcal{O}_{\mathbb{Q}(\sqrt{d})}$ 、仮数の集合が $A \subset \mathcal{O}_{\mathbb{Q}(\sqrt{d})}$ (有限集合) である位取り記数法を $(z|A)_d$ で表す。また、複素数 a_1, a_2, \dots, a_n を並べた $a_n \dots a_2 a_1$ を z を底とした位取り記数法での表記と解釈した値 $\sum_{k=1}^n z^{k-1} a_k$ を、 $(a_n \dots a_2 a_1)_{(z)}$ と表す。

e. $(z|A)_d$ が一意性を持つということは、 $a_m, b_n \neq 0$ である $a_1, a_2, \dots, a_m, b_1, b_2, \dots, b_n \in A$ について、 $(a_m \dots a_2 a_1)_{(z)} = (b_n \dots b_2 b_1)_{(z)} \Rightarrow n = m$ かつ $a_k = b_k$ ($k = 1, 2, \dots, n$) が成り立つことをいう。

f. $(z|A)_d$ が完全性を持つということは、任意の $c \in \mathcal{O}_{\mathbb{Q}(\sqrt{d})}$ について、 $c = (a_n \dots a_2 a_1)_{(z)}$ となる $a_1, a_2, \dots, a_n \in A$ が存在することをいう。

次に研究の目的の達成に必要な諸定理を示す。

定理1. $b \in \mathbb{C}$ と、
 $A \in \left\{ (s + t\omega_d)b \mid s, t \in \mathbb{R}, 0 \leq s < 1, 0 \leq t < 1 \right\}$ について $A \%_d b = A$

証明.

$$A \in \left\{ (s + t\omega_d)b \mid s, t \in \mathbb{R}, 0 \leq s < 1, 0 \leq t < 1 \right\}$$

より、 $A = (s + t\omega_d)b$ となるような実数

s, t ($0 \leq s < 1, 0 \leq t < 1$) が存在し、

$$\begin{aligned} A \%_d b &= b \left(\left\{ \text{Re}_d \left(\frac{A}{b} \right) \right\} + \omega_d \left\{ \text{Im}_d \left(\frac{A}{b} \right) \right\} \right) \\ &= b \left(\left\{ \text{Re}_d (s + t\omega_d) \right\} + \omega_d \left\{ \text{Im}_d (s + t\omega_d) \right\} \right) \\ &= (s + t\omega_d)b \quad (\because 0 \leq s < 1, 0 \leq t < 1) \\ &= A \end{aligned}$$

証明終わり.

定理2. $a, b \in \mathcal{O}_{\mathbb{Q}(\sqrt{d})}$ について、 $a \%_d b$ の値は $\left\{ (s + t\omega_d)b \mid s, t \in \mathbb{R}, 0 \leq s < 1, 0 \leq t < 1 \right\}$ 上の $\mathcal{O}_{\mathbb{Q}(\sqrt{d})}$ の元に限定され、これらを全てとりうる証明.

$$0 \leq \left\{ \text{Re}_d \left(\frac{a}{b} \right) \right\} < 1, 0 \leq \left\{ \text{Im}_d \left(\frac{a}{b} \right) \right\} < 1 \text{ より、}$$

$$a \%_d b = b \left(\left\{ \operatorname{Re}_d \left(\frac{a}{b} \right) \right\} + \omega_d \left\{ \operatorname{Im}_d \left(\frac{a}{b} \right) \right\} \right) \cdots \textcircled{1}$$

$$\in \left\{ (s + t\omega_d)b \mid s, t \in \mathbb{R}, 0 \leq s < 1, 0 \leq t < 1 \right\}$$

また、

$$\begin{aligned} \textcircled{1} &= b \left(\operatorname{Re}_d \left(\frac{a}{b} \right) - \lfloor \operatorname{Re}_d \left(\frac{a}{b} \right) \rfloor + \omega_d \left(\operatorname{Im}_d \left(\frac{a}{b} \right) - \omega_d \lfloor \operatorname{Im}_d \left(\frac{a}{b} \right) \rfloor \right) \right) \\ &= b \left(\operatorname{Re}_d \left(\frac{a}{b} \right) + \omega_d \operatorname{Im}_d \left(\frac{a}{b} \right) \right) - b \left(\lfloor \operatorname{Re}_d \left(\frac{a}{b} \right) \rfloor + \omega_d \lfloor \operatorname{Im}_d \left(\frac{a}{b} \right) \rfloor \right) \\ &= a - b \left(\lfloor \operatorname{Re}_d \left(\frac{a}{b} \right) \rfloor + \omega_d \lfloor \operatorname{Im}_d \left(\frac{a}{b} \right) \rfloor \right) \in \mathcal{O}_{\mathbb{Q}(\sqrt{d})} \\ (\because a, b \in \mathcal{O}_{\mathbb{Q}(\sqrt{d})}, \lfloor \operatorname{Re}_d \left(\frac{a}{b} \right) \rfloor, \lfloor \operatorname{Im}_d \left(\frac{a}{b} \right) \rfloor \in \mathbb{Z}) \end{aligned}$$

また、 $\{(s + t\omega_d)b \mid s, t \in \mathbb{R}, 0 \leq s < 1, 0 \leq t < 1\}$

上の $A \in \mathcal{O}_{\mathbb{Q}(\sqrt{d})}$ について、定理1より、 $A \%_d b = A$ したがって、すべての A について、 $A \%_d b$ は $a = A$ で A をとる。以上より、 $a \%_d b$ の値は

$$\left\{ (s + t\omega_d)b \mid s, t \in \mathbb{R}, 0 \leq s < 1, 0 \leq t < 1 \right\} \text{ 上の } \mathcal{O}_{\mathbb{Q}(\sqrt{d})} \text{ の元 に 限定 され、これら を 全て と り う る。}$$

証明終わり。

定理3. $a \in \mathbb{R}$ を定数とする。 x 軸と y 軸のなす角が θ ($0 < \theta < \pi$) の斜交座標系において、すべての頂点の x 座標が整数、 y 座標が a の有理整数倍である図形の面積は、内部と辺上の x 座標が整数、 y 座標が a の整数倍である点の数をそれぞれ I, B とし、 $a \left(I + \frac{1}{2}B - 1 \right) \sin \theta$

本定理はピックの定理の自然な拡張であり、本稿の主題から外れるため、証明の詳細には立ち入らない。なお、証明は参考文献「ピックの定理」に示されている方法と同様の方針で与えられる。

定理4. $\{(s + t\omega_d)b \mid s, t \in \mathbb{R}, 0 \leq s < 1, 0 \leq t < 1\}$ 上の $\mathcal{O}_{\mathbb{Q}(\sqrt{d})}$ の元は $|b|^2$ 個である

証明.

複素平面上の点 $0, b, \omega_d b, (1 + \omega_d)b$ がつくる平行四辺形について、辺上にある $\mathcal{O}_{\mathbb{Q}(\sqrt{d})}$ の元の個数を m とし、それ以外の内部にある $\mathcal{O}_{\mathbb{Q}(\sqrt{d})}$ の元の個数を n とする。

$\{(s + t\omega_d)b \mid s, t \in \mathbb{R}, 0 \leq s < 1, 0 \leq t < 1\}$ は、この平行四辺形のうち、点 b と $(1 + \omega_d)b, \omega_d b$ と $(1 + \omega_d)b$ をそれぞれ結ぶ辺を除いたものであるから、求める個数について、 $\frac{m}{2} + n - 1$

また、複素平面上で $b, \omega_d b$ と原点をそれぞれ結ぶ線分のなす角 θ について、複素平面上に x 軸と y 軸のなす角が θ で x 軸と実軸が一致するような斜交座標系をとると、 $\mathcal{O}_{\mathbb{Q}(\sqrt{d})}$ の元は x 座標が整数、 y 座標が $|\omega_d|$ の整数倍の点に相当する。よって、定理3より、

$$|\omega_d| \left(\frac{m}{2} + n - 1 \right) \sin \theta = |\omega_d| |b|^2 \sin \theta \quad \text{即ち、}$$

$$\frac{m}{2} + n - 1 = |b|^2$$

よって $\{(s + t\omega_d)b \mid s, t \in \mathbb{R}, 0 \leq s < 1, 0 \leq t < 1\}$

上の $\mathcal{O}_{\mathbb{Q}(\sqrt{d})}$ の元は $|b|^2$ 個である。証明終わり。

定理5. $a_1, a_2, b \in \mathbb{C}$ について、 $a_1 \%_d b = a_2 \%_d b$ ならば $\frac{a_1 - a_2}{b} \in \mathcal{O}_{\mathbb{Q}(\sqrt{d})}$

証明.

$$\begin{aligned} a_1 &= b \left(\frac{a_1}{b} \right) = b \left(\lfloor \operatorname{Re}_d \left(\frac{a_1}{b} \right) \rfloor + \omega_d \lfloor \operatorname{Im}_d \left(\frac{a_1}{b} \right) \rfloor \right) \\ &\quad + b \left(\left\{ \operatorname{Re}_d \left(\frac{a_1}{b} \right) \right\} + \omega_d \left\{ \operatorname{Im}_d \left(\frac{a_1}{b} \right) \right\} \right) \\ &= b \left(\lfloor \operatorname{Re}_d \left(\frac{a_1}{b} \right) \rfloor + \omega_d \lfloor \operatorname{Im}_d \left(\frac{a_1}{b} \right) \rfloor \right) + a_1 \%_d b \end{aligned}$$

同様の式変形を行うと、

$$\begin{aligned} a_2 &= b \left(\lfloor \operatorname{Re}_d \left(\frac{a_2}{b} \right) \rfloor + \omega_d \lfloor \operatorname{Im}_d \left(\frac{a_2}{b} \right) \rfloor \right) + a_2 \%_d b \\ &= b \left(\lfloor \operatorname{Re}_d \left(\frac{a_2}{b} \right) \rfloor + \omega_d \lfloor \operatorname{Im}_d \left(\frac{a_2}{b} \right) \rfloor \right) + a_1 \%_d b \end{aligned}$$

よって、 $\frac{a_1 - a_2}{b}$

$$\begin{aligned} &= \lfloor \operatorname{Re}_d \left(\frac{a_1}{b} \right) \rfloor - \lfloor \operatorname{Re}_d \left(\frac{a_2}{b} \right) \rfloor + \omega_d \left(\lfloor \operatorname{Im}_d \left(\frac{a_1}{b} \right) \rfloor - \lfloor \operatorname{Im}_d \left(\frac{a_2}{b} \right) \rfloor \right) \\ \lfloor \operatorname{Re}_d \left(\frac{a_1}{b} \right) \rfloor - \lfloor \operatorname{Re}_d \left(\frac{a_2}{b} \right) \rfloor, \lfloor \operatorname{Im}_d \left(\frac{a_1}{b} \right) \rfloor - \lfloor \operatorname{Im}_d \left(\frac{a_2}{b} \right) \rfloor &\in \mathbb{Z} \end{aligned}$$

だから、 $\frac{a_1 - a_2}{b} \in \mathcal{O}_{\mathbb{Q}(\sqrt{d})}$

証明終わり。

定理6. $a, b \in \mathbb{C}, x \in \mathcal{O}_{\mathbb{Q}(\sqrt{d})}$ について

$$(a + bx) \%_d b = a \%_d b$$

証明.

$$\begin{aligned} (a + bx) \%_d b &= b \left(\left\{ \operatorname{Re}_d \left(\frac{a}{b} + x \right) \right\} + \omega_d \left\{ \operatorname{Im}_d \left(\frac{a}{b} + x \right) \right\} \right) \\ &= b \left(\left\{ \operatorname{Re}_d \left(\frac{a}{b} \right) + \operatorname{Re}_d(x) \right\} + \omega_d \left\{ \operatorname{Im}_d \left(\frac{a}{b} \right) + \operatorname{Im}_d(x) \right\} \right) \\ &= b \left(\left\{ \operatorname{Re}_d \left(\frac{a}{b} \right) \right\} + \omega_d \left\{ \operatorname{Im}_d \left(\frac{a}{b} \right) \right\} \right) \end{aligned}$$

($\because x \in \mathcal{O}_{\mathbb{Q}(\sqrt{d})}$ より、 $\operatorname{Re}_d(x), \operatorname{Im}_d(x) \in \mathbb{Z}$)

$$= a \%_d b$$

証明終わり。

定理7. 一意性と完全性を満たす $(z|A)_d$ について、

$$x, y \in A, x \%_d z = y \%_d z \text{ ならば } x = y$$

証明.

$x \neq y$ と仮定する。 $x \neq 0$ としても一般性を失わない。

$x \%_d z = y \%_d z$ だから、定理5より、 $\frac{x-y}{z} \in \mathcal{O}_{\mathbb{Q}(\sqrt{d})}$

$(z|A)_d$ は一意性と完全性を持つので、 $x \neq y$ より、 $\frac{x-y}{z} \neq 0$ だから、 $\frac{x-y}{z} = (a_n \dots a_2 a_1)_{(z)}$ となる有限列 $a_1, a_2, \dots, a_n \in A$ が存在する。 $(a_n \neq 0)$ このとき、

$$\begin{aligned} (a_n \dots a_2 a_1 y)_{(z)} &= y + \sum_{k=1}^n a_k z^k = y + z \sum_{k=1}^n a_k z^{k-1} \\ &= y + z \cdot (a_n \dots a_2 a_1)_{(z)} = y + z \cdot \frac{x-y}{z} = x = (x)_{(z)} \end{aligned}$$

よって、 $(a_n a_{n-1} \dots a_2 a_1 y)_{(z)} = (x)_{(z)}$ かつ $a_n, x \neq 0$ で

$(z|A)_d$ が一意性を持つことに矛盾。よって、仮定は誤りで、 $x = y$

証明終わり。

定理8. $(z|A)_d$ が一意性と完全性を満たすとき、
 $a \%_d z$ ($a \in A$)のとりうる値は
 $\{(s + t\omega_d)z \mid s, t \in \mathbb{R}, 0 \leq s < 1, 0 \leq t < 1\}$ 上の
 $\mathcal{O}_{\mathbb{Q}\sqrt{d}}$ の元に限定され、これらを全てとりうる

証明.

$\{(s + t\omega_d)z \mid s, t \in \mathbb{R}, 0 \leq s < 1, 0 \leq t < 1\}$ 上の
 $x \in \mathcal{O}_{\mathbb{Q}\sqrt{d}}$ について、 $(z|A)_d$ は完全性を持つので、

$x = (a_n \dots a_2 a_1)_{(z)}$ となる有限列 $a_1, a_2, \dots, a_n \in A$ が存在する。このとき、

$$x = (a_n \dots a_2 a_1)_{(z)} = \sum_{k=1}^n z^{k-1} a_k = a_1 + z \sum_{k=2}^n z^{k-2} a_k$$

$$\text{したがって、} x \%_d z = \left(a_1 + z \sum_{k=2}^n z^{k-2} a_k \right) \%_d z$$

この左辺について、

$$x \in \{(s + t\omega_d)z \mid s, t \in \mathbb{R}, 0 \leq s < 1, 0 \leq t < 1\}$$

だから、定理1より、 $x \%_d z = x$ また、右辺について、

$$\text{定理6より、} \left(a_1 + z \sum_{k=2}^n z^{k-2} a_k \right) \%_d z = a_1 \%_d z$$

$$\left(\because \sum_{k=2}^n z^{k-2} a_k \in \mathcal{O}_{\mathbb{Q}\sqrt{d}} \right)$$

以上より、 $x = a_1 \%_d z$ で、すべての x について、

$a = a_1$ のとき、 $a \%_d z = x$ となる。

また、定理2より、 $a \%_d z$ は

$\{(s + t\omega_d)z \mid s, t \in \mathbb{R}, 0 \leq s < 1, 0 \leq t < 1\}$ 上の
 $\mathcal{O}_{\mathbb{Q}\sqrt{d}}$ の元以外をとらない。

以上より、 $a \%_d z$ のとりうる値は

$\{(s + t\omega_d)z \mid s, t \in \mathbb{R}, 0 \leq s < 1, 0 \leq t < 1\}$ 上の
 $\mathcal{O}_{\mathbb{Q}\sqrt{d}}$ の元に限定され、これらを全てとりうる。

証明終わり。

定理9. 一意性と完全性を満たす $(z|A)_d$ について、

$$n(A) = |z|^2$$

証明.

$$B = \{(s + t\omega_d)z \mid s, t \in \mathbb{R}, 0 \leq s < 1, 0 \leq t < 1\} \cap \mathcal{O}_{\mathbb{Q}\sqrt{d}} \text{ とする。}$$

$f(x) = x \%_d z$ ($x \in A$) とする。このとき、定理8より、

常に $f(x) \in B$ だから、 $f: A \rightarrow B$ である。

定理8より、任意の $b \in B$ に対して、ある $a \in A$ が存在して、 $f(a) = b$ だから、 f は全射である。

定理7より、 $a_1, a_2 \in A$ について、

$f(a_1) = f(a_2) \Rightarrow a_1 = a_2$ だから、 f は単射である。以上より、 f は全単射。したがって、 $n(A) = n(B)$ 定理4

より、 $n(B) = |z|^2$ したがって、 $n(A) = |z|^2$

証明終わり。

定理10. 一意性と完全性を満たす $(z|A)_d$ について $0 \in A$

証明.

$0 \notin A$ と仮定する。このとき、 $(z|A)_d$ は完全性を持つ

ので $0 = (a_m \dots a_2 a_1)_{(z)}$ となる有限列 $a_1, a_2, \dots, a_m \in A$

が存在する。 ($0 \notin A$ より、 $a_m \neq 0$) このとき、別の有限列 $b_1, b_2, \dots, b_n \in A$ ($b_n \neq 0$) について、

$$(a_m \dots a_2 a_1 b_n \dots b_2 b_1)_{(z)} = \sum_{k=1}^n z^{k-1} b_k + z^n \sum_{k=1}^m z^{k-1} a_k$$

$$= (b_n \dots b_2 b_1)_{(z)} + z^n \cdot (a_m \dots a_2 a_1)_{(z)}$$

$$= (b_n \dots b_2 b_1)_{(z)} + z^n \cdot 0 = (b_n \dots b_2 b_1)_{(z)} \text{ 以上より、}$$

$$(a_m \dots a_2 a_1 b_n \dots b_2 b_1)_{(z)} = (b_n \dots b_2 b_1)_{(z)} \text{ かつ } a_m, b_n \neq 0$$

で一意性に矛盾。よって仮定は誤りで、 $0 \in A$

証明終わり。

定理11. $0 \in A$ かつ、各 $a \in A$ について、 $a \%_d z$ が互いに異なるとき $(z|A)_d$ は一意性をもつ

証明.

この条件のもとで、 $a_1, a_2, \dots, a_m, b_1, b_2, \dots, b_n \in A$ について、 $a_m, b_n \neq 0$ かつ $(a_m \dots a_2 a_1)_{(z)} = (b_n \dots b_2 b_1)_{(z)}$

ならば、 $m = n$ かつ $a_l = b_l$ ($l = 1, 2, \dots, m$) を示す。

$m \leq n$ としても一般性を失わない。
 $1 \leq l \leq m$ で $a_l = b_l$ を示す。

(i) $l = 1$ のとき

$$(a_m \dots a_2 a_1)_{(z)} = (b_n \dots b_2 b_1)_{(z)} \text{ 即ち、}$$

$$\sum_{k=1}^m z^{k-1} a_k = \sum_{k=1}^n z^{k-1} b_k \dots \textcircled{1}$$

両辺を z で割った余りを考えて、

$$\sum_{k=1}^m z^{k-1} a_k \%_d z = \sum_{k=1}^n z^{k-1} b_k \%_d z$$

$$\text{即ち} \left(a_1 + z \sum_{k=2}^m z^{k-2} a_k \right) \%_d z = \left(b_1 + z \sum_{k=2}^n z^{k-2} b_k \right) \%_d z \dots \textcircled{2}$$

$$\sum_{k=2}^m z^{k-2} a_k, \sum_{k=2}^n z^{k-2} b_k \in \mathcal{O}_{\mathbb{Q}\sqrt{d}} \text{ だから、}$$

$$\text{定理6より、} a_1 \%_d z = b_1 \%_d z$$

仮定より、各 $a \in A$ について、 $a \%_d z$ が互いに異なるから $a_1 = b_1$

(ii) $1 \leq l \leq p$ で成り立つと仮定したとき ($p < m$)

$$a_l = b_l$$
 ($l = 1, 2, \dots, p$) だから、 $\sum_{k=1}^p z^{k-1} a_k = \sum_{k=1}^p z^{k-1} b_k$

①から辺々引いて、

$$\sum_{k=1}^m z^{k-1} a_k - \sum_{k=1}^p z^{k-1} a_k = \sum_{k=1}^n z^{k-1} b_k - \sum_{k=1}^p z^{k-1} b_k$$

$$\sum_{k=p+1}^m z^{k-1} a_k = \sum_{k=p+1}^n z^{k-1} b_k$$

辺々 z^p で割って、

$$a_{p+1} + z \sum_{k=p+2}^m z^{k-p-2} a_k = b_{p+1} + z \sum_{k=p+2}^n z^{k-p-2} b_k$$

$l = 1$ のときと同様に $\mathcal{O}_{\mathbb{Q}\sqrt{d}}$ における両辺を z で割った余

りを考えると $a_{p+1} = b_{p+1}$

(i)(ii)より、 $1 \leq l \leq m$ の範囲で $a_l = b_l$

$$\text{したがって、} \sum_{k=1}^m z^{k-1} a_k = \sum_{k=1}^m z^{k-1} b_k \quad \cdots \textcircled{3}$$

ここで、 $m \neq n$ と仮定すると、 $m \leq n$ より、 $m < n$ だから、 $m+1 \leq q \leq n$ で $b_q \neq 0$ となる q が少なくとも

一つ存在する。 $(\because b_n \neq 0)$

このうち、最小の q について、 $m+1 \leq k < q$ で、

$$b_k = 0$$

①から③を辺々引くと、

$$\sum_{k=1}^m z^{k-1} a_k - \sum_{k=1}^m z^{k-1} a_k = \sum_{k=1}^n z^{k-1} b_k - \sum_{k=1}^m z^{k-1} b_k$$

$$0 = \sum_{k=m+1}^n z^{k-1} b_k$$

$$0 = \sum_{k=q}^n z^{k-1} b_k \quad (\because m+1 \leq k < q \text{ で } b_k = 0)$$

辺々 z^{q-1} で割って、 $0 = b_q + z \sum_{k=q+1}^n z^{k-q-1} b_k$

$$0 \%_d z = \left(b_q + z \sum_{k=q+1}^n z^{k-q-1} b_k \right) \%_d z \quad \cdots \textcircled{4}$$

$\sum_{k=q+1}^n z^{k-q-1} b_k \in \mathcal{O}_{\mathbb{Q}\sqrt{d}}$ だから、定理6より、

$$0 \%_d z = b_q \%_d z$$

各 $a \in A$ について、 $a \%_d z$ が互いに異なり、 $0 \in A$ だから、 $b_q = 0$ これは $b_q \neq 0$ に矛盾。したがって、仮

定は誤りで、 $m = n$

以上より、 $m = n$ かつ $a_l = b_l (l = 1, 2, \dots, m)$ で、

$(z|A)_d$ は一意性をもつ。

証明終わり。

定理12. $z \in \mathcal{O}_{\mathbb{Q}\sqrt{d}}$ について、 $\frac{2|1+\omega_d|}{\sin(\arg(\omega_d))} < |z|$ のとき、

$$A = \left\{ (s + t\omega_d)z \mid s, t \in \mathbb{R}, -\frac{1}{2} \leq s < \frac{1}{2}, -\frac{1}{2} \leq t < \frac{1}{2} \right\} \cap \mathcal{O}_{\mathbb{Q}\sqrt{d}} \text{ とすると、}(z|A)_d \text{ は完全性と一意性を持つ}$$

証明.

$a_1, a_2 \in A, a_1 \neq a_2$ について $a_1 \%_d z = a_2 \%_d z$ と仮定する。

このとき、定理5より、 $\frac{a_1 - a_2}{z} \in \mathcal{O}_{\mathbb{Q}\sqrt{d}}$

$$a_1, a_2$$

$$\in \left\{ (s + t\omega_d)z \mid s, t \in \mathbb{R}, -\frac{1}{2} \leq s < \frac{1}{2}, -\frac{1}{2} \leq t < \frac{1}{2} \right\}$$

より、 $-\frac{1}{2} \leq s_1 < \frac{1}{2}, -\frac{1}{2} \leq t_1 < \frac{1}{2},$

$-\frac{1}{2} \leq s_2 < \frac{1}{2}, -\frac{1}{2} \leq t_2 < \frac{1}{2}$ である s_1, t_1, s_2, t_2 を用

いて、 $a_1 = (s_1 + t_1\omega_d)z, a_2 = (s_2 + t_2\omega_d)z$ とおくことができる。

$$\begin{aligned} \text{このとき、} \frac{a_1 - a_2}{z} &= (s_1 + t_1\omega_d) - (s_2 + t_2\omega_d) \\ &= s_1 - s_2 + (t_1 - t_2)\omega_d \in \mathcal{O}_{\mathbb{Q}\sqrt{d}} \end{aligned}$$

したがって、 $s_1 - s_2, t_1 - t_2 \in \mathbb{Z}$

$$-\frac{1}{2} \leq s_1 < \frac{1}{2}, -\frac{1}{2} \leq t_1 < \frac{1}{2}, -\frac{1}{2} \leq s_2 < \frac{1}{2},$$

$$-\frac{1}{2} \leq t_2 < \frac{1}{2} \text{ より、}$$

$-1 < s_1 - s_2 < 1, -1 < t_1 - t_2 < 1$ であるから、

$$s_1 - s_2, t_1 - t_2 = 0$$

即ち、 $s_1 = s_2, t_1 = t_2$ よって、 $a_1 = a_2$ となり、

$a_1 \neq a_2$ に矛盾。したがって仮定は誤りで、

$$a_1 \%_d z \neq a_2 \%_d z$$

よって、各 $a \in A$ について $a \%_d z$ が互いに異なり、

$0 \in A$ であるから、定理11より $(z|A)_d$ は一意性をもつ。

また、

$$\left\{ (s + t\omega_d)z \mid s, t \in \mathbb{R}, -\frac{1}{2} \leq s < \frac{1}{2}, -\frac{1}{2} \leq t < \frac{1}{2} \right\}$$

平行四辺形と見ると、頂点は $\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\omega_d\right)z,$

$$\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2}\omega_d\right)z, \left(-\frac{1}{2} - \frac{1}{2}\omega_d\right)z, \left(-\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\omega_d\right)z$$

(点 E_1, E_2, E_3, E_4 とする)で、

辺 E_1E_2, E_3E_4 と原点の距離は $\frac{|z|}{2} \sin(\arg(\omega_d))$

辺 E_2E_3 と E_4E_1 の距離は $\frac{|z|}{2} \text{Im}_d(\omega_d)$

ここで、 $\text{Im}_d(\omega_d) \geq 1$ であるから、

$$\frac{|z|}{2} \sin(\arg(\omega_d)) \leq \frac{|z|}{2} \text{Im}_d(\omega_d) \text{ であり、}$$

絶対値が $\frac{|z|}{2} \sin(\arg(\omega_d))$ 未満である $\mathcal{O}_{\mathbb{Q}\sqrt{d}}$ の元は A に属

する。また、 $\frac{2|1+\omega_d|}{\sin(\arg(\omega_d))} < |z|$ より、

$$|1 + \omega_d| < \frac{|z|}{2} \sin(\arg(\omega_d)) \text{ だから、} |c| \leq |1 + \omega_d| \text{ と}$$

なる $c \in \mathcal{O}_{\mathbb{Q}\sqrt{d}}$ について、 $c \in A$

したがって、 $-1 - \omega_d, -\omega_d, 1 - \omega_d,$

$-1, 0, 1, -1 + \omega_d, \omega_d, 1 + \omega_d$ はすべて絶対値が

$|1 + \omega_d|$ 以下であるから、これらは A の元である。

ここで、 $C = \{-1 - \omega_d, -\omega_d, 1 - \omega_d, -1, 0, 1, -1 + \omega_d, \omega_d, 1 + \omega_d\}$ とする。

$C \subset A$ であるから、 $zC + A$ の元はすべて、 $(z|A)_d$ において2桁以下で表すことができる。

また、 $zC + A = \{zc + (s + t\omega_d)z \mid s, t \in \mathbb{R},$

$$-\frac{1}{2} \leq s < \frac{1}{2}, -\frac{1}{2} \leq t < \frac{1}{2}, c \in C\} \cap \mathcal{O}_{\mathbb{Q}\sqrt{d}}$$

$$= \{z(c_1 + s + (c_2 + t)\omega_d) \mid c_1, c_2 \in \{-1, 0, 1\}$$

$$, s, t \in \mathbb{R}, -\frac{1}{2} \leq s < \frac{1}{2}, -\frac{1}{2} \leq t < \frac{1}{2}\} \cap \mathcal{O}_{\mathbb{Q}\sqrt{d}}$$

$$= \left\{ (s + t\omega_d)z \mid s, t \in \mathbb{R}, -\frac{3}{2} \leq s < \frac{3}{2}, -\frac{3}{2} \leq t < \frac{3}{2} \right\}$$

$$\cap \mathcal{O}_{\mathbb{Q}\sqrt{d}}$$

よって、

$$\left\{ (s + t\omega_d)z \mid s, t \in \mathbb{R}, -\frac{3}{2} \leq s < \frac{3}{2}, -\frac{3}{2} \leq t < \frac{3}{2} \right\}$$

上の $\mathcal{O}_{\mathbb{Q}\sqrt{d}}$ の元は $(z|A)$ において2桁以下で表すことができる。

また、2つの仮数の和の集合 $2A$ について、
 $2A \subset \left\{ (s + t\omega_d)z \mid s, t \in \mathbb{R}, -1 \leq s < 1, -1 \leq t < 1 \right\}$

$$\cap \mathcal{O}_{\mathbb{Q}\sqrt{d}} \\ \subset \left\{ (s + t\omega_d)z \mid s, t \in \mathbb{R}, -\frac{3}{2} \leq s < \frac{3}{2}, -\frac{3}{2} \leq t < \frac{3}{2} \right\} \\ \cap \mathcal{O}_{\mathbb{Q}\sqrt{d}}$$

よって、2つの仮数の和は $(z|A)_d$ において2桁以下で表すことができる。

したがって、 $a_n \dots a_2 a_1 \in A$ ($a_n \neq 0$) と
 $b_1 \in \{1, \omega_d - 1, -\omega_d\}$ について、 a'_k を $a_k + b_k$ の1桁目、 b_{k+1} を $a_k + b_k$ の2桁目とすると(2桁目がない場合は0)、 $a'_k, b_k, b_{n+1} \in A$ で、 $a_k + b_k = zb_{k+1} + a'_k$ だから

$$(1 \leq k \leq n), \\ \left(a_n \dots a_2 a_1 \right)_{(z)} + b_1 \\ = \sum_{k=2}^n z^{k-1} a_k + a_1 + b_1 \\ = \sum_{k=2}^n z^{k-1} a_k + zb_2 + a'_1 \\ = z \left(\sum_{k=3}^n z^{k-2} a_k + a_2 + b_2 \right) + \sum_{k=1}^1 z^{k-1} a'_k \\ = z \left(\sum_{k=3}^n z^{k-2} a_k + zb_3 + a'_2 \right) + \sum_{k=1}^2 z^{k-1} a'_k \\ = z^2 \left(\sum_{k=4}^n z^{k-3} a_k + a_3 + b_3 \right) + \sum_{k=1}^2 z^{k-1} a'_k \\ = z^2 \left(\sum_{k=4}^n z^{k-3} a_k + zb_4 + a'_3 \right) + \sum_{k=1}^3 z^{k-1} a'_k \\ = z^3 \left(\sum_{k=5}^n z^{k-4} a_k + a_4 + b_4 \right) + \sum_{k=1}^4 z^{k-1} a'_k \\ = \dots = z^{n-2} \left(\sum_{k=n}^n z^{k-n+1} a_k + a_{n-1} + b_{n-1} \right) + \sum_{k=1}^{n-2} z^{k-1} a'_k \\ = z^{n-2} \left(\sum_{k=n}^n z^{k-n+1} a_k + zb_n + a'_{n-1} \right) + \sum_{k=1}^{n-2} z^{k-1} a'_k \\ = z^{n-1} (a_n + b_n) + \sum_{k=1}^{n-1} z^{k-1} a'_k \\ = z^{n-1} (zb_{n+1} + a'_n) + \sum_{k=1}^{n-1} z^{k-1} a'_k \\ = z^n b_{n+1} + \sum_{k=1}^n z^{k-1} a'_k = \left(b_{n+1} a'_n a'_{n-1} \dots a'_2 a'_1 \right)_{(z)} \\ (b_{n+1} = 0 \text{ のときは } (a'_n a'_{n-1} \dots a'_2 a'_1)_{(z)})$$

したがって、
 $\left(a_n \dots a_2 a_1 \right)_{(z)} + 1, \left(a_n \dots a_2 a_1 \right)_{(z)} + \omega_d, \left(a_n \dots a_2 a_1 \right)_{(z)} - 1, \\ \left(a_n \dots a_2 a_1 \right)_{(z)} - \omega_d$ は $(z|A)_d$ において、高々 $n + 1$ 桁の表記を持つ。

任意の $\mathcal{O}_{\mathbb{Q}\sqrt{d}}$ の元、 $u + v\omega_d$ ($u, v \in \mathbb{Z}$) について、 $0 \in A$ だから、

$$u \geq 0 \text{ のとき、} \\ u = \underbrace{\left(\left(\dots \left((0)_{(z)} + 1 \right) + 1 \right) \dots + 1 \right) + 1}_u$$

$$u < 0 \text{ のとき、} \\ u = \underbrace{\left(\left(\dots \left((0)_{(z)} - 1 \right) - 1 \right) \dots - 1 \right) - 1}_u$$

よって、 u は $(z|A)_d$ において、高々 $|u| + 1$ 桁の表記をもつ。

$$v \geq 0 \text{ のとき、} \\ u + v\omega_d = \underbrace{\left(\left(\dots \left((u + \omega_d) + \omega_d \right) \dots + \omega_d \right) + \omega_d \right)}_v$$

$$v < 0 \text{ のとき、} \\ u + v\omega_d = \underbrace{\left(\left(\dots \left((u - \omega_d) - \omega_d \right) \dots - \omega_d \right) - \omega_d \right)}_v$$

よって、 $u + v\omega_d$ は $(z|A)_d$ において高々 $|u| + |v| + 2$ 桁の表記を持つ。したがって、 $(z|A)_d$ は完全性を持つ。

以上より、 $(z|A)_d$ は完全性と一意性を持つ。

証明終わり。

5. 自分の提案 (答え)

(1)

今回の研究を通して、 n 進法で $0, 1, \dots, n-1$ という n 個の仮数を選べば完全になるように、任意の虚二次体における位取り記数法でも、十分大きい底であれば、必ず完全かつ一意になる仮数の選び方を導くことができた。

(2)

一意かつ完全な記数法の仮数の個数や特性がわかった。

6. 今後の課題

今後の課題としては、十分条件でなく、一意性や完全性への必要十分条件を解明すること、大きさに関わらず任意の底についても研究を進めること、分解型複素数や二重数、四元数といったほかの多元数へと拡張することなどが挙げられる。

7. 引用・参考文献

ピックの定理 数学の小部屋

<http://kurihara.sansu.org/theory/pic.html>

ガウス整数の商と余り (普通とは異なる定義)

$+ \frac{a_n a_{n-1} \dots a_2 a_1}{b_1} = + \frac{a_n a_{n-1} \dots a_2 a_1}{a'_1} = + \frac{a_n a_{n-1} \dots a_2 a_1}{b_3} \frac{b_1}{b_1} \\ = \dots = + \frac{a_n a_{n-1} \dots a_m a_{m-1} \dots a_2 a_1}{b_m} \frac{b_1}{b_1} = \dots = + \frac{a_n a_{n-1} \dots a_2 a_1}{b_{n+1} a'_n a'_{n-1} \dots a'_2 a'_1}$

(図1) ここまでの式変形は筆算に相当する。

るるん氏 2021/8/17投稿 2024/4/8更新
mathlog.info/articles/2544

位取り記数法の性質の良さ 仮称氏
2023/2/17投稿 mathlog.info/articles/4000

全射・単射・全単射の定義をわかりやすく～具体例を添えて～
数学の景色 2024/09/08更新
<https://mathlandscape.com/bijection/>

Sumset ウィキペディア 2021/01/01更新
<https://ja.wikipedia.org/wiki/Sumset>

二次体 ウィキペディア 2024/10/11更新
<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E4%BA%8C%E6%AC%A1%E4%BD%93>

代数体入門【代数的整数論入門】 alg-d氏
2024/11/09投稿
<https://youtu.be/bmC437vHWPo?si=NA9PXcfbXBCn00xi>

代数体と代数的数【代数的整数論入門】 alg-d氏
2024/11/13投稿
<https://youtu.be/8dR2m9Zx0BQ?si=mI61tqsiHAbjMLDN>

代数体の整数環【代数的整数論入門】 alg-d氏
2024/11/22投稿
https://youtu.be/XV5RvDXIs_c?si=2pg7L6tRX1Z_WDhc

Python を用いたブラウン運動の数値計算と運動の解析

—ランジュバン方程式の数値計算とその有用性—

研究者 2年4組28番 中山由隆

1. 研究目的

浮遊する微粒子が不規則に運動する現象であるブラウン運動の様子を、微分方程式を数値計算することで解析する。

Python で微分方程式を数値計算するコードを作り、実験事実や法則を再現する。粘度や温度などの値を変えて運動の様子を調べ、どのように関係しているか、理論的に計算されている関係と一致しているか調べる。

2. 研究方法

この研究ではブラウン運動をよく記述する方程式であるランジュバン方程式を用いる。

$$m \frac{dv(t)}{dt} = -\gamma v(t) + R(t)$$

これがランジュバン方程式であり、ここで γ は粘性摩擦係数、 R は揺動力、粒子は粘性による抵抗力と揺動力によって運動することを表す。 R は揺動力を表す完全にランダムなものとし、時間の平均をとると0であるとする。すなわち $\langle R(t) \rangle = \mathbf{0}$ である。 R は確率的な関数であるのでランジュバン方程式は確率微分方程式で、数学的に $v(t)$ を求めることができないため数値計算をする。

数値計算の結果が実際のブラウン運動を再現できているか確認するための、実験によって確かめられている事実を以下に示す。

- (i) 粒子の平均2乗変位は時間に比例する。
- (ii) 温度が高いほど、粒子が小さいほど平均2乗変位が大きい。

これらの事実をシミュレーションと照らし合わせシミュレーションを評価する。

3. 先行研究

ランダムウォークとは、次の位置や値が過去のデータとは無関係に確率的に決定される運動やプロセスで、株価など金融の分野でも使われる。ブラウン運動はランダムウォークの物理的な例である。ここではランダムウォークを基にしてブラウン運動のシミュレーションをしたものを先行研究とする。1)

```
import numpy as np

# ランダムウォークシミュレーション
# 各粒子の位置を保存する配列を初期化 (粒子数 x ステップ数 x 座標)
positions = np.zeros((num_particles, num_steps, 2))

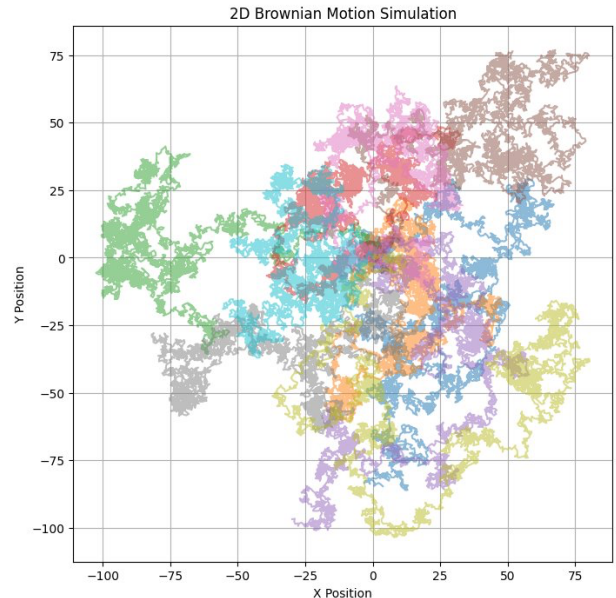
# ランダムな角度を生成 (0以上 ~ 2π未満)
angles = np.random.uniform(0, 2*np.pi, size=(num_particles, num_steps))

# xおよびy方向の移動距離を計算
dx = step_size * np.cos(angles)
dy = step_size * np.sin(angles)

# 各粒子の位置を更新
positions[:, 1:, 0] = np.cumsum(dx, axis=1)[:, :-1]
positions[:, 1:, 1] = np.cumsum(dy, axis=1)[:, :-1]
```

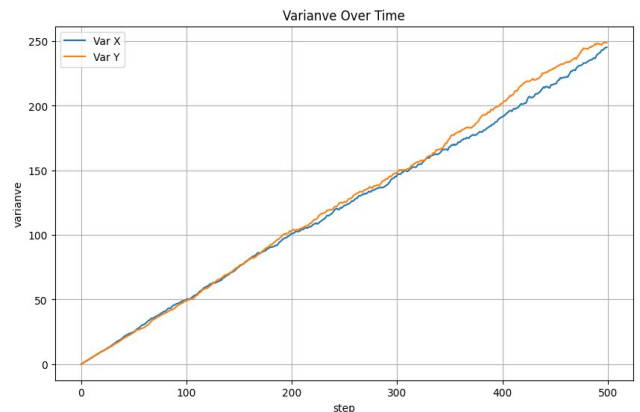
(画像 1) 先行研究のランダムウォークのプログラム

画像 1 はある点が座標平面上でランダムな向きに 1 だけ移動するプログラムであり、ランジュバン方程式との違いは粘性摩擦による抵抗がなく微分方程式を用いていないことである。



(グラフ 1) 先行研究シミュレーション結果

色が違うそれぞれの点の軌跡をグラフ 1 に示す。点のランダムな運動を見ることができる。ここで平均 2 乗変位を計算するためにコードを付け足して確かめる。



(グラフ 2) 平均 2 乗変位のグラフ
横軸:ステップ数(時間) 縦軸:平均 2 乗変位

グラフ 2 より、(i)の平均 2 乗変位 \propto 時間が成り立っていることがわかる。(ii)についてはこのシミュレーションは温度や粒子の大きさを考えていないので確かめることはできないが、微分方程式を使わないランダムウォークはブラウン運動を記述できていることがわかる。

4. 数値計算の準備

微分方程式の数値計算には $\frac{dv}{dt} \approx \frac{v(t+\Delta t)-v(t)}{\Delta t}$ と近似するオイラー法を用いる。単純のために一次元で考える。ランジュバン方程式を $t \sim \Delta t$ で積分して

$$\int_t^{t+\Delta t} m \frac{dv(t)}{dt} dt = \int_t^{t+\Delta t} (-\gamma v(t) + R(t)) dt$$

$\int_t^{t+\Delta t} -\gamma v(t) dt \approx -\gamma v(t) \Delta t$ と近似して

$$v(t + \Delta t) - v(t) = \frac{1}{m} \left(-\gamma v(t) \Delta t + \int_t^{t+\Delta t} R(t) dt \right)$$

ここで揺動散逸定理が成り立つように R を $\langle R(t)R(t') \rangle = 2\gamma k_B T \delta(t-t')$ を満たすものとする。揺動散逸定理はランジュバン方程式とエネルギー等分配則からも導かれる。 k_B はボルツマン定数、 T は絶対温度である。またオイラー・丸山法により $\langle R(t)R(t') \rangle = \delta(t-t')$ を満たす関数の積分は

$$\int_t^{t+\Delta t} R(t) dt = N(0, \Delta t) = \sqrt{\Delta t} N(0, 1)$$

となることが知られている。2) ここで $N(0, 1)$ は標準正規分布をとる確率変数。よって $\int_t^{t+\Delta t} R(t) dt = \sqrt{2\gamma k_B T \Delta t} N(0, 1)$ となる。この式はランダムな力は $\sqrt{2\gamma k_B T}$ の重みで $\sqrt{\Delta t} N(0, 1)$ の分布に従い確率的に粒子に力を及ぼすことを表している。元の式は

$$v(t + \Delta t) = v(t) + \frac{1}{m} (-\gamma v(t) \Delta t + \sqrt{2\gamma k_B T \Delta t} N(0, 1))$$

位置についてもオイラー法で以下ようになる。

$$x(t + \Delta t) = x(t) + v(t) \Delta t$$

ここで定数をより現実的な定数に変換しておく。
 $m = \frac{4}{3} \pi a^3 \rho$ (a : 粒子の半径, ρ : 粒子の密度)
 $\gamma = 6\pi a \eta$ (ストークスの法則より) (η : 粘性係数)
 すると

$$v(t + \Delta t) = v(t) - \frac{9\eta}{2a^2 \rho} v(t) \Delta t + \frac{3\sqrt{3}}{2\pi a^3 \rho} \sqrt{\pi a \eta k_B T \Delta t} N(0, 1)$$

これで初期条件を定めれば数値計算が可能となる。

5. Python で数値計算

座標平面上の原点に粒子を設置し、時間が経つにつれて動く粒子の軌跡を表示する。

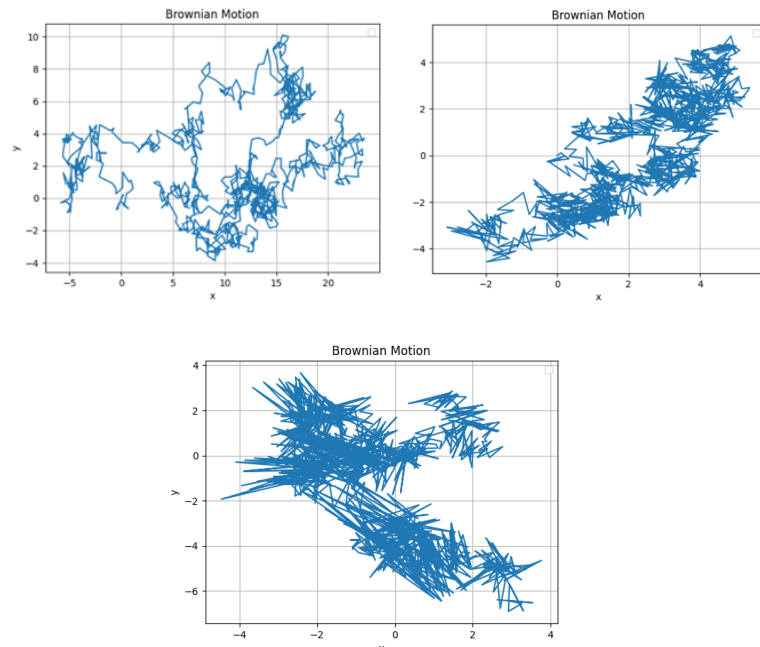
```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
# パラメータ
ita = 1
a = 1
mitsudo = 1
kBT = 10
t0, t_end = 0, 100
dt = 0.1
m = 4 * np.pi * mitsudo * a ** 3 / 3
vx0 = np.sqrt(0.5 * kBT / m)
vy0 = np.sqrt(0.5 * kBT / m)
x0 = 0
y0 = 0
gamma = 6 * np.pi * a * ita

# 時間の配列
t_values = np.arange(t0, t_end + dt, dt)
# x, y の配列を初期化
vx_values = np.zeros(len(t_values))
vx_values[0] = vx0
vy_values = np.zeros(len(t_values))
vy_values[0] = vy0
x_values = np.zeros(len(t_values))
x_values[0] = x0
y_values = np.zeros(len(t_values))
y_values[0] = y0

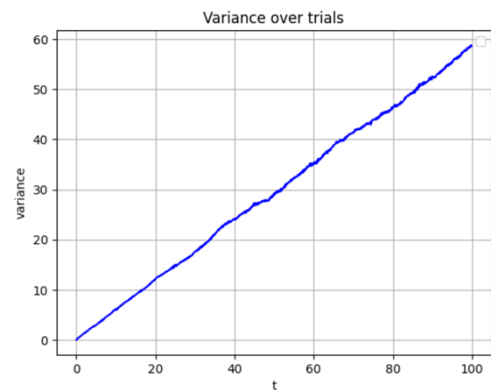
# オイラー法で数値解を求める
for i in range(1, len(t_values)):
    vx_values[i] = vx_values[i-1] + (-gamma * vx_values[i-1] * dt + np.sqrt(2 * gamma * kBT * dt) * np.random.normal(0, 1)) / m
    vy_values[i] = vy_values[i-1] + (-gamma * vy_values[i-1] * dt + np.sqrt(2 * gamma * kBT * dt) * np.random.normal(0, 1)) / m
    x_values[i] = x_values[i-1] + dt * vx_values[i-1]
    y_values[i] = y_values[i-1] + dt * vy_values[i-1]

# グラフを描画
plt.plot(x_values, y_values, label="")
plt.xlabel("x")
plt.ylabel("y")
plt.title("Brownian Motion")
```

(画像 2) 数値計算のプログラム



(グラフ左上 3, 右上 4, 下 5) シミュレーション結果 粒子の軌跡



(グラフ 6) 時間による平均 2 乗変位の変化

6. 結果・考察

グラフ 3, 4, 5 は粘性係数 η を順に大きくしたときのシミュレーション結果である。グラフ 6 は時間による平均 2 乗変位の変化であり時間に比例していることがわかる。粘性係数が大きいほど運動のばらつき具合が小さくなり、粘性係数をさらに大きくすると最終的に動かなくなった。また粒子を小さくしたり温度を高くしたりすると運動が激しくなることがわかった。(グラフは省略。)

粒子の大きさ a と粘性抵抗 η は抵抗力の項にも揺動力の項にも入っているが、オーダの大小によって粒子の大きさは揺動力を、粘性抵抗は抵抗力を支配していることがわかった。

グラフ 6 より平均 2 乗変位が時間に比例することが確かめられ、実験事実 (i) を再現できている。また実験事実 (ii) の粒子が小さいほど、温度が高いほど運動が激しくなることも今回確かめられたので、ランジュバン方程式はブラウン運動をよく記述できていると考えられる。

7. 課題・展望

粘性や温度に勾配がある場合などの状況をモデル化することができなかつたので、このような様々な状況のときの運動についても調べていきたい。

研究している中で、伊藤積分やオイラー・丸山法という数学の内容に触れたが理解しきれなかつたので、理解して研究に使いこなせるようにしたい。

今回はランジュバン方程式を用いてブラウン運動を解析しようとしたが、確立過程の微分方程式は他にもあるので、他の方程式についても調べていきたい。

8. 引用・参考文献

1) 2次元ブラウン運動シミュレーション

<https://qiita.com/kim-hyunwoo/items/17bee19210d83f3933e4>

2) Langevin 方程式と確率微分方程式

<https://zenn.dev/kaityo256/articles/langevin-equation>

火の造形

—空中で燃焼した火の空間へ—

研究者 2年3組14番 氏名 鈴木陽人 2年4組5番 氏名 荻原巧羽
2年6組4番 氏名 飯沼徳真 2年6組34番 氏名 氏名村山暖真

1. 研究目的

近年では、演出などにおいて火が多用される時代が到来している。それはショーやただの装飾にはとどまらない。数十年前までは演出といえば紙吹雪などが主流であったのに、今では光を使ったカラフルな演出やプロジェクションマッピングによる映像の投影などが行われるようになり、私たちの身近で技術力の向上や科学技術の発達が感じられるようになった。そのようなものの中には火の噴出による火柱の演出や花火を魅せる演出なども含まれている。私たちはオリエンタル社より感銘を受け、空中における火の造形は無限の可能性を持っていると感じた。そこで私たちは本研究で空中で燃えている火を安全に形造ることでさらに多くのジャンルで活躍することができるのではないかと考えた。そして本研究を通してそれを応用した提案をしていくことを目標にこの研究を始動した。

2. 先行研究の分析

(1) 火がつくとはどういうことか

火が目視できるとはどのような状態か。私たちは最初にこの先行研究を行った。わかったこととして、火がつくためには、可燃物（燃料）・助燃物（酸素など）・熱（エネルギー）という燃焼の3条件が揃っていることが前提であるということである。可燃物とは一般的には炭素が含まれることが多く、炭素が含まれるということは燃焼によって二酸化炭素が発生するということだ。そういった物質のことを指すことが多いと思われる。次に、助燃物とは、酸素のようにその物質自体は燃焼しないが、他の物質が燃焼を行うのを助けるという性質がある。これには酸素以外にもいくつかの性質を持ったものが存在しており、例を挙げるとフッ素、塩素などの単体の他にも、酸化剤という酸化・還元反応のために使われるものもある。そして最後に、熱の部分に焦点を当てると、引火点と発火点というものが挙げられる。まず、引火点とは点火源を近づけたときに燃焼が始まる最低温度のことを指している。例を挙げるならジエチルエーテルでは -45°C 、メタノールでは 11°C 、灯油で $40\sim 60^{\circ}\text{C}$ になる。次に、発火点とはその物質自体が火元になる現象であり、点火源がなくとも勝手に焼が始まる温度のことを指す。さらにわかったこととして、燃焼が発生するとき、完全燃焼であれば火は青く見えるが、不完全燃焼となれば煤が発生する。煤は煙や火に含まれる炭素の黒い粉末のことであり、化学的性質としては主に炭素から成っており、不純物や構造によっては素性が変化することがあるというものがある。煤に熱が吸収されると元来黒色の煤であっても光を放出する現象が発生する。この現象によって火はオレンジ色のように見えるのである。1) これらのことから燃焼反応においては可燃物に炭素が多く含まれていれば

いるほど、火はオレンジ色に見えやすくなるということがわかった。

(2) 火で起きる危険性

火を使う演出は美しいと同時に危険性も伴っており、火災や爆発事故などが起こる可能性がある。過去には以下のような火災・人身事故が起きていることがわかった。

①明治神宮外苑イベント火災（2016年）2)

京都・福知山の花火大会会場の露店で、店主が発電機にガソリンを給油しようとしたところ、高音の携行缶から気化したガソリンが噴出・爆発した。この事故によって死者と負傷者が複数名発生した。

②ナイトクラブ火災（2025年）3)

ヨーロッパ南東部の北マケドニアにあるナイトクラブで行われていたコンサートで火災が発生した。出火原因は演出に使われた花火で、天井の装飾に燃え移ったことである。

③コンサート中の花火爆発事故（2025年）4)

エジプトで人気アーティストのコンサート中に誤って演出用の花火が爆発してしまった事故。ガスボンベの不具合が原因と見られる。

これらのような事故は共通して不具合や確認不足から発生していることが多い。演出のための火が燃え移ったり爆発する原因となることに留意する必要があると言える。

3. 研究方法

本研究では3種類の方法を用いて実験を行い、火を空中で形造ることを目標に行なった。また、本研究の仮説を下部に示す。

(仮説)

炭素分子を意図的に集約・分散・変形させることで火の形を意図的に変形することができる。

(1) プロパンを用いた燃焼

実験道具

- ・スプレー缶（プロパンガスを含む物）
- ・風を与える物
- ・火源

①スプレー缶に含まれるプロパンガス（ C_3H_8 ）に火を近づける。

②引火の仕方、及び挙動を確認する。

③燃焼した状態で風を与え、変化を確認する。

(2) 粉塵爆発を用いた実験

実験道具

- ・火源
 - ・三脚
 - ・ふるい
- ア、実験装置



- ・ろうそく
- ・透明の囲い
- ・風を送る物
- ・コーンスターチ

①コーンスターチ $\{(C_6H_{10}O_5)_n\}$ をふるい上に出し実験装置を組み立てる。

- ②下部から風を送り囲い内で燃焼させる。
- ③形を意図的に変化させる。

実験(1),(2)は燃焼後に造形を行うことを目的としていたが、実験(3)のみ先の2つの実験と異なり、先に可燃物を造形してから燃焼させることを目的としている。



イ, 実験装置

(3) メタノールを用いた燃焼

実験道具

- ・火源
- ・三脚
- ・ろうそく
- ・風船
- ・メタノール

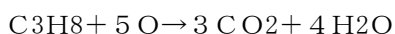
- ①風船内部にメタノール (CH₄O) を入れた状態で十分な大きさに膨らませる。
- ②実験装置イを組み立てる。
- ③風船を破裂させ燃焼の結果を確認する。

4. 結果・考察

実験結果は以下のとおりであった。

(1) プロパンを用いた実験の結果

スプレー缶のプロパンガスが噴射されることを利用して、噴射方向に燃焼が広がると想定されたが、実験では想定通りの挙動を見せた(ウ)。プロパンガスの燃焼反応の化学反応式は下のものである。



これより、十分にオレンジ色の火が目視できると考えられる。また、燃焼後に風を送り様子を観察した結果、強風に煽られて揺れる様子(エ)が確認できた。何度かこの状態を確認できたことから偶発的ではなく意図的な変形に利用できると考えられる。



ウ, 燃焼の様子



エ, 風の影響

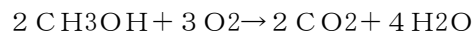
(2) 粉塵爆発の実験の結果

結果として実験は失敗した。粉塵爆発を起こすには、粉塵が空气中に一定濃度で浮遊していることに加えて(粉塵雲)・発火源・酸素が必要である。今回の実験では粉塵雲の濃度が足りていなかったことが原因だと考えられている。粉塵雲の濃度が足りない場合、引火点に到達しにくくなる。すなわち引火することが困難になるため発火現象が発生しなかったと考えられる。また、送風時には吹子を利用して

おり、この吹子によって発生する送風の勢いが強く火の勢いが弱まってしまったという原因も考えられる。実験が失敗したことにより、以降の研究は続行不可能であった。

(3) メタノールを用いた実験の結果

危険物第4類アルコール類に分類されるメタノールの性質は引火点がとても低く(11~12℃)で非常に引火しやすい他、揮発性が高く燃焼しやすいと言うものが挙げられる。燃焼の化学反応式は、



となり火は少し青く見える。風船内部に入れた少量のエタノールが風船内で気化、風船を破裂させ、下部にあるろうそくの火から引火・燃焼することで風船状の球形の燃焼が発生するという仮定である。しかしこの実験も同じく失敗となった。原因は分かりやすく、風船を破裂した際、衝撃波と風が発生してろうそくの火が消えてしまったことである。この風に対し、ろうそく一本では燃焼の継続は不可能であり、対策するにはガスバーナーなどの強い火を当てることなどが必要であるという結論が得られた。

5. 結論

(1) 結論 I

実験(1)から考えられることに、理論上炭素を意図的に集約・変形することは、燃焼の形状を意図的に変えることができることを示唆していると考えられる。よって、より大きな設備を用いれば火の燃焼に指向性を持たせられると考えることができる。

(2) 結論 II

実験(3)は失敗に終わったが、造形してから燃焼することで、火の形の安定性を上げることができ、造形したものがわかりやすくなると同時に、火災事故などの危険性を下げることが期待される。

6. 今後の課題

今後の実験を行う際、火源の出力をあげ、火の勢いを強くする・実験設備の修正などの改善が考えられる。本実験の仮定は合っていると想定されるため、設備改善による再研究が必要である。また、先行研究で触れた火災事故の発生に対する解決案は未だ探ることができていないため今後の課題として考える必要がある。

7. 引用・参考文献

1) 火とは何 | 佐々木化学薬品株式会社

<https://www.sasaki-c.co.jp/hatena-k/fire.html>

2) 花火大会で起きた爆発事故原因は露天のガソリン

<https://www.ntv.co.jp/gyoten/articles/324tndhzgi3v4x7jsj4.html>

3) 北マケドニアのナイトクラブで火事 59人死亡

<https://news.web.nhk/newsweb/na/na-k10014751521000>

4) コンサート中に花火が爆発 観客席を直撃

https://news.tv-asahi.co.jp/news_international/article/000443743.html

恐竜の生態 ～恐竜の復活は可能？～

研究者 2年2組10番
2年2組26番
2年3組12番
2年3組25番
2年5組16番

氏名 齊藤健太
氏名 藤岡光明
氏名 塩原知弥
氏名 平井碧人
氏名 小林芽生

1. 研究目的(問題意識)

高校1年生の英語の授業の時に恐竜の復活は可能なのか、という記事について学習をしたときに本当に恐竜は生きていたのかそしてその復活は可能かなどという恐竜について詳しく知りたいと思ったから。ニュースを見ていた時に「恐竜は今でも生きている」ということを見てどういふことなのかを調べてみたかったから。

②草食恐竜が食べ物にしていたシダ植物は大きさや繁殖の構造が今のものと大きく異なっている。



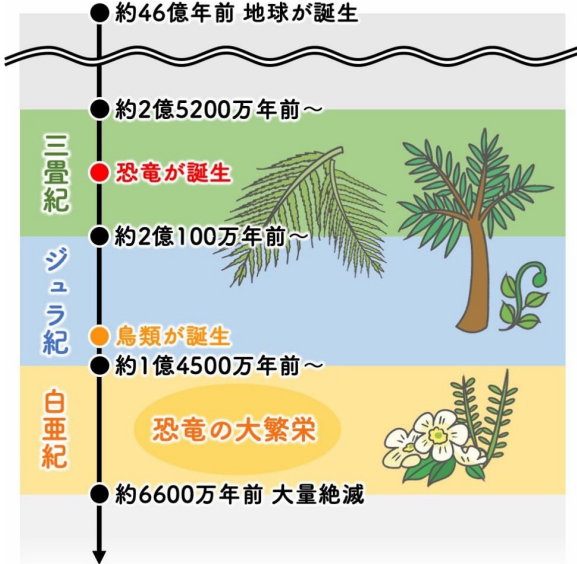
(図2) 植物が恐竜の巨大化を支えた

2. 現状 (先行研究の分析)

(1) 恐竜についてわかっていること

【歴史】

①恐竜は約2億3000万年前～6600万年前から生きている。「三畳紀」に最初の恐竜が誕生し、「ジュラ期」に大型化・多様化され、「白亜紀」に最も繁栄した。(図1)



(図1) 時代の変化に伴う恐竜の変化

②爬虫類である「アルコサウルス類」から恐竜は成り立ち、次に小型2足歩行の祖先である「エオラプトル」、その後火山活動や気候変動が起き当時のライバル動物が減り恐竜が生態系の主役となり大繁栄した。ジュラ紀には「ブラキオサウルス」が大型化していった。

③恐竜は足が体の真下にあり安定して体を支えられることができ生活するのに役に立ったため長く生きていけたとされている。

④体が大きい理由は骨が空洞だらけでスカスカにであり骨と骨の隙間が空いていたからとされている。

⑤恐竜の食性の割合は植物食83%以上、肉食8%以下、雑食9%前後である。

【植生】

①シダ植物や、裸子、被子植物が恐竜の主な食糧源となっていて、中でも被子植物は恐竜の子孫を撒く方法を進化させていき、恐竜の巨大化を加速させていったとされている。(図2)

【環境】

①恐竜が栄えたところは植物が育つのに必要な二酸化炭素(CO2)が現在の6倍もあり、植物が育ちやすかった。

②恐竜の生きていた時代の気温は非常に高く、今の気温と大体10℃程度高く、恐竜は約40℃の場所が主な生活地域となっている。それにより植物もよく育ちエサが豊富に存在した。

③恐竜は体が大きいので、密集しない程の広大な土地、水分補給のための淡水域が必要であるが恐竜が生きていた時代は今と違って建物がないため広大な土地があった。

④大きな体で生命を維持するためには多くの酸素が必要で、恐竜の最盛期には酸素濃度はとても高くなっており、おおよそ30%～35%にまで高くなっていた。このことにより図3からわかるように効率的に呼吸ができたとされている。

The infographic includes:

- 恐竜は地球上で最も大きな動物だった
- トリケラトプス (3-9メートル)
- ブラキオサウルス (24-28メートル)
- ステゴサウルス (7-9メートル)
- ティラノサウルス (12-14メートル)
- 恐竜が巨大化した理由:
 - 急速な成長: 1年に数百キログラム～数トン体重が増えた
 - 効率が悪い呼吸の仕組み: 巨大な体に必要な酸素を取り入れた
 - 骨が小さかった: 出産に使うエネルギーを体の成長にまわせた
 - 植物をまるのみしていた: 噛まないことで腸が短くなり、くびが長くなった
- 気の流れの仕組み:
 - 息を吸うとき: 肺
 - 息を吐くとき: 肺で空気が冷めやすくなる
 - はくとき: 肺に熱い空気が流れる一方通行
- フランスで発見された恐竜のふともも部分にある骨の化石。長さ2メートルで世界最長とされる。仏アンジエム博物館のジャン・フランソワ・トゥルヌビッシュ研究員提供

(図3) 恐竜が効率的に呼吸ができたわけ

(2) 恐竜の絶滅について

巨大な隕石の落下が主な絶滅理由とされている。ほかにもデカントラップという大規模で長期間の噴火や数10万年にわたる火山活動により生態系にダメージを与えていたこと、酸性雨などの大気汚染が絶滅の理由として挙げられている。

3. 仮説

- (1) 恐竜は遺伝子配合により最も近い生物をつくる
ことが可能である。
- (2) 恐竜は肉を食べないと生きていけない。

4. 研究方法 (研究手法)

福井県立恐竜博物館に行き恐竜の詳しい情報、恐竜の復活についての手がかりになる情報などを探す。また、恐竜のことだけでなく当時恐竜が暮らしていた時期の地球の環境を調査する。

ジュラシックパーク・ジュラシックワールドの映画を見て恐竜に対する手がかりや復活に関する材料がないのかを調査する。

5. 結果

(1) 遺伝子と恐竜の復活

多くの恐竜は長い年月をかけその環境に対応しながら姿形を変えて生き残ってきた。現代には恐竜は生きていないが、恐竜の生き残りとして「鳥」が生きている。つまり恐竜の最も近い遺伝子を持つのは鳥であり、最も元の姿に近い形で復元するには鳥から復活させることが一番可能性としては高いことが分かった。また、ジュラシックパークの映画では琥珀に閉じ込められた蚊が吸血した恐竜の血液を使ってDNAを採取し、これを解析・復元した上で欠損部位を現生のカエルのDNAで補完、さらにこれをワニの未受精卵に注入することで復活したという設定になっている。だが、赤血球、白血球、血小板などの血液に含まれる細胞成分には寿命があり遺伝情報の復元は不可能とされていることが分かった。(図4)



(図4) 琥珀に閉じ込められた9900万年前カエル

(2) 恐竜の食べ物

恐竜の食性を知る手がかりはたくさんあるが、その中でも歯の形が食性を知るうえで1番使われていることが分かった。特に爬虫類や哺乳類の化石には、硬く化石になりやすい歯が残されていることが多く、様々な形のものが知られている。絶滅した動物の歯の形は、その動物が主に肉食性なのか、草食性なのかを教えてくれる重要な判断材料になる。恐竜が生きていた時代には図5のような歯を持っている恐竜が多く、そのことから草食動物が多かったとわかる。



(図5) 植物食恐竜の歯

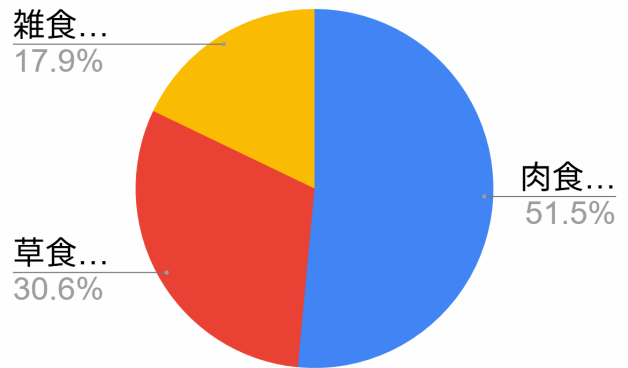
6. 自分の提案 (考察)

(1) 遺伝子と恐竜の復活

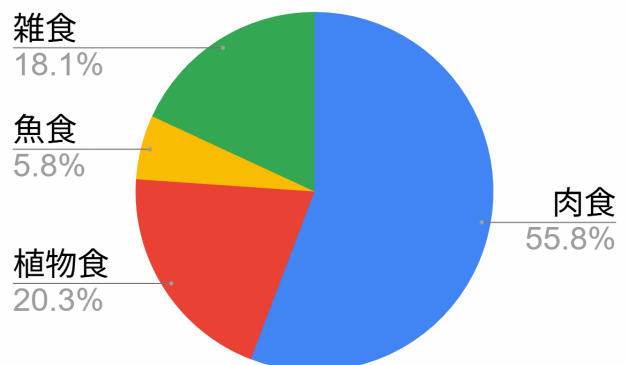
恐竜を復活させるには「鳥」と「ワニ」の遺伝子配合をすることで1番恐竜に近づけることができると思う。その根拠として鳥は恐竜が進化をして形を変えたものであり、ワニは現在に生きる生物としては恐竜に1番近い生物であることがわかり、この2つの配合が成功すれば恐竜に1番近い生物の遺伝子が存在することになると考えられる。

(2) 恐竜の食べ物

恐竜は肉を食べないと生きていけないと考えられる。その根拠として、グラフ1から50%弱の人が恐竜は肉食動物であると思っている人であり、またグラフ2より恐竜の食べ物は肉であると思うと答えた人は55%近くいることから恐竜の主食は肉であり肉を食べないと死んでしまうと仮定した。



(グラフ1) 恐竜の食性はどこに分類されるとおもうか?



(グラフ2) 自分の思っている恐竜の食性

7. 結論

(1) 現段階では恐竜の復活は不可能である。その理由は恐竜を復活させるにはDNAが必要であり、そのDNAを得るには恐竜の化石が必要不可欠になってくるがどこに化石があるかは分からなく、見つけるために莫大な時間や労力が必要だと考えられているから。また、たとえ化石を見つけたとしてもDNAは500年ごとに半分に減少してしまうことから、見つけたとしても実質的に遺伝子情報は残っていない可能性が高い。そのことから化石からDNAを取り出す可能性は極めて低いと言える。

(2) 恐竜は肉を食べなくても生きていける。その理由としては、恐竜が生きていた時代にはそもそも植物食の恐竜が多くそのため植物がたくさん生育していた。また肉食動物はたったの8%しかいなかったことから肉が身の回りに少なく、そういった動物たちがしんでしまうことも多いから。

8. 今後の課題

恐竜の復活はほぼ不可能だということが分かったので、復活したと仮定して恐竜が私たちに与えるメリットなどを考えたいと思った。

9. 引用・参考文献

化石セブン

https://www.kaseki7.com/z_column/dinosaur_evolution.html

福井県立恐竜博物館公式HP

<https://www.dinosaur.pref.fukui.jp/museum/exhibit.html>

どこまでわかってきている？

「恐竜きょうりゅう」の最新のふしぎとナゾ

<https://www.honda.co.jp/kids/explore/dinosaur/>

恐竜はなぜ巨大になれた 呼吸のしくみなどに理由

<https://reskill.nikkei.com/article/DGXZZ000321410S6A500C1000000/>

ゴジラ上陸、宇宙人との接触、恐竜復活……現実で起こったらどうなる？ ハードSFと最新科学から検証

https://realsound.jp/book/2024/05/post-1639640_3.html

今の技術で本物の「ジュラシック・パーク」を作るとは可能…ただし大昔の恐竜の再生は不可能

<https://www.discoveryjapan.jp/news/fw34wmpma73/>

恐竜は何を食べた

<https://www.dino-tail.com/study/sho03/sho0301.html>

結晶のカタチを操作する！

—鉄ミョウバンの立方体結晶への挑戦—

研究者 坂本陽之 小林世楽
仁科拓人 (吉澤汰一)

研究概要

先行研究 [manzana, ミョウバンの結晶づくり part5 (晶相変化による立方体結晶の育成) | How grow alum crystals part5 (cubic crystals by habit change), 2023]により, カリミョウバンにホウ砂を添加することで, 通常正8面体を呈す結晶が立方体に晶相変化することが示されている. また, クロムミョウバンとカリミョウバンの混晶作成において, 界面活性剤である, 直鎖アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム (LAS) を添加することで, 晶相変化することが示された. しかし, ホウ砂やLASがクロムミョウバン以外のミョウバンについて晶相変化を起こせるかどうかや, LAS がカリミョウバン単体に媒晶作用を示すかは示されていない. また, LAS が媒晶剤として機能する理由が不明点として残されていた. 本研究では, ホウ砂を媒晶剤として用いたカリミョウバンの晶相変化の再現と, 鉄ミョウバンでの再現を通し, 他のミョウバン類結晶の晶相変化に応用可能かを確かめた. また, 媒晶剤の作用の原理の考察を試みた. 実験の結果, カリミョウバンとホウ砂での再結晶で立方体結晶が得られた. しかし, 鉄ミョウバンとホウ砂の組み合わせの場合, 立方体への晶相変化は起こらなかった. また, LAS を添加した場合, 本研究条件では明確な晶相変化を起こさなかった.

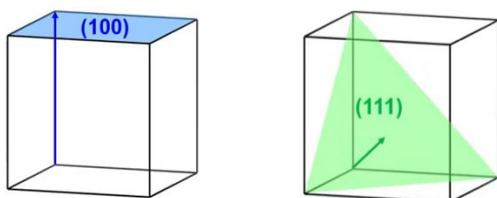
1. はじめに (Introduction)

ミョウバンとは $M^I M^{III} (SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ の組成式を持つものの総称である. (M^I , M^{III} はそれぞれ 1 価の陽イオンと 3 価の陽イオンを指す). また, ミョウバンは一般的に正 8 面体の結晶を呈す.

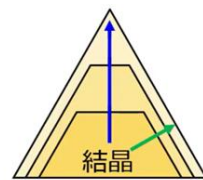
しかし, 先行研究では, カリミョウバン ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) にホウ砂 ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$) を添加することで立方体の結晶を生成できることが報告されている. また, クロムミョウバン ($KCr(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) とカリミョウバンとの混晶を作成する際, 界面活性剤の直鎖アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム (以下 LAS) を添加すると, 同様に立方体結晶が生成できることが示された. このような結晶が異なる多面体へ変化することを晶相変化という. また, 晶相変化を発生させる物質を媒晶剤という. 先行研究にて示された原理は以下の通りだ.

(1) なぜ通常は正 8 面体になるか

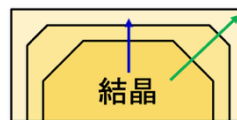
- 第一に, ミョウバンの単位格子は立方体の形を成す. この面の中で, ミラー指数によって, x 軸方向に垂直な面を $\{100\}$ 面, $x \cdot y \cdot z$ 方向から等距離の面を $\{111\}$ 面と表す(図).



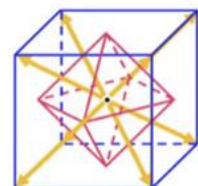
- 通常, ミョウバンの結晶の成長方向の中で, $\{100\}$ 面の成長が最も速く, $\{111\}$ 面の成長が最も遅い.
- $\{100\}$ 面は成長速度が速いため, 結晶となった時尖った形となる. 反対に, $\{111\}$ 面は成長速度が遅いため, 面として結晶表面に残る. このため, ミョウバンは 8 面体となる.



$\{100\}$ 面の成長が早い場合

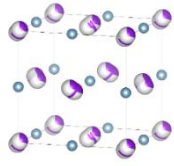


$\{111\}$ 面の成長が早い場合

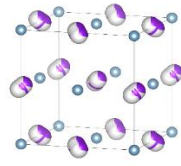


(2) なぜホウ砂を加えると立方体になるか

- 以上の性質から, 8 面体から立方体への晶相変化を起こすためには, $\{100\}$ 面の成長速度を遅くすればよいことがわかる.
- ホウ砂は, 電離して水酸化物イオンを生じる. ミョウバン溶液中では, アルミのアクア錯体 ($[Al(H_2O)_6]^{3+}$) から水素イオンを引き抜く. (錯体とは中心の金属イオンに他の分子やイオンが配位したイオン) 構造が変化してしまった分子はミョウバン結晶の成長に使用できない. このため, ホウ砂の添加によってミョウバンの結晶成長に使用できるアルミ錯体の量が減少する.
- ここで二つの単位格子 a , b について考える. a と b は格子の切り取り方を変えただけで, 分子の並び方, 格子の大きさは変化していない. (水:アルミ, 紫:カリウム)



a



b

- ここで，{100} 面において，アルミ錯体の数を数える。

$$a: \frac{1}{2} \times 4 = 2$$

$$b: \frac{1}{4} \times 4 + 1 = 2$$

いずれも面積は a^2 であるため，アルミ錯体の密度は $\frac{2}{a^2}$ となる。

- ここで，{111} 面において，アルミ錯体の数を数える。

$$a: 0$$

$$b: \frac{1}{2} \times 3 + \frac{1}{6} \times 3 = 2$$

いずれも面積は $\frac{a^2\sqrt{3}}{2}$ であるため，アルミ錯体の密度は

$$\frac{4\sqrt{3}}{3a^2} + 0 \div 2 \approx \frac{1.2}{a^2} \text{ となる。}$$

- 以上のことから，{100} 面の Al 密度 $=\frac{2}{a^2}$ は {111} 面の Al 密度 $=\frac{1.2}{a^2}$ より大きいと分かる。
 - ホウ砂を加えると，ミョウバン結晶の成長に使えるアルミ錯体の量が減少するためアルミ錯体の密度が高い面ほど相対的な成長速度が大きく低下する。
 - したがって，アルミ錯体の密度が高い {100} 面の成長速度が最も遅くなり，密度の低い {111} 面は成長速度が最も早くなる。
 - このため，ミョウバンにホウ砂を加えると立方体の結晶を成す。
- (3) なぜ LAS を加えると立方体になるか
- 界面活性剤である LAS が，ミョウバン結晶の {100} 面に吸着されることで，{100} 面の成長速度を遅くするため。
 - クロムミョウバンとカリミョウバンの混晶作成の場合，ホウ砂の場合はホウ砂がクロム錯体と優先的に反応し，完全に結晶内に取り込まれなくなり，立方体結晶が生成しない。
 - しかし，LAS は化学反応をほとんど起こさないため，クロム錯体が結晶に取り込まれ混晶ができる。
 - 原因は不明だが，LAS のアルキル鎖 (C_nH_{2n+1}) の長さによって媒晶作用の有無が異なり， $n=12$ のとき媒晶作用をもつ。

2. 実験方法 (Materials and Methods)

実験 1 ではホウ砂によってカリミョウバンが晶相変化を起こすのか再現を行った。密度拡散法という上下で溶液の密度を変え，つるした種結晶を緩やかに育成させる方式と，蒸発法という溶媒を緩やかに蒸発させ育成する方式をとり，対照実験をおこなった。実験 2 ではホウ砂の代替として，水酸化ナトリウムを用い pH を調整して立方体結晶が得られるか検証した。実験 3 では，鉄ミョウバン ($FeNH_4(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) でも同様にホウ砂を媒晶剤として使用できるかどうかを検証した。実験 4，5 では媒晶剤として LAS (直鎖アルキルベンゼンスルホン酸塩) を用いて実験を行った。

2-1. 実験 1 :カリミョウバンとホウ砂

以下の条件で，対照実験を行った。

<密度拡散法>

A. カリミョウバン 0.046mol (22.00g)

B. カリミョウバン 0.046mol (22.00g)+ホウ砂
0.023mol (8.84g)

<蒸発法>

C. カリミョウバン 0.046mol (22.00g)

D. カリミョウバン 0.046mol (22.00g)+ホウ砂
0.023mol (8.84g)

<密度拡散法>

(1) 上記の条件になるように，それぞれ 100ml の純水に溶かした溶液を調整する。

(2) 一晚放冷後，再結晶したものをろ過で取り除き，得られた飽和溶液を試験管に移す。

(3) ナイロン糸で吊るしたミョウバンの種結晶を入れる。

(4) 容器の上部に A ではミョウバンのみ，B ではミョウバンとホウ砂(モル比を等しく)を詰めたお茶パックを固定。

(5) ラップで覆い，水を入れた容器に試験管の下部がつかないように入れ，A は 10 日間，B は 16 日間水温約 17~18°C で放置した。

<蒸発法>

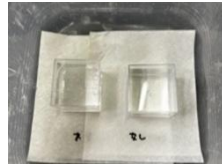
(1) 上記の条件になるように，それぞれ 100ml の純水に溶かした溶液を調整する。

(2) 2つのアクリルケースそれぞれに C, D を 10ml 程度入れる。

(3) 中央に種結晶を置き，密閉せずに 16 日間水温約 17~18°C で放置した。その間，2 日間程度の間隔で溶液を新しいものに変え，結晶の置く面を変え入れ直した。



密度拡散法



蒸発法

2-2. 実験 2: NaOH で pH を調整

先行研究で示された原理によると、水酸化物イオンが溶液中のアルミ錯体の割合を減少させることで晶相変化が見られると推測できる。よって、水酸化ナトリウムで pH を調整すれば晶相変化を期待できると考えた。

- (1) ミョウバンと水酸化ナトリウムが mol 比で 2 : 1 及び 1 : 1 で混合し、ろ過した。
- (2) 溶液をそれぞれビーカーに 10mL 程度入れ、結晶が析出するまで 20°C ほどの環境で蒸発させた。

2-3. 実験 3: 鉄ミョウバンとホウ砂

以下の条件で、対照実験を行った。

<密度拡散法>

- E: 鉄ミョウバン 0.046mol (22.00g)
 F: 鉄ミョウバン 0.046mol (22.00g) + ホウ砂 0.023mol (8.84g)

<蒸発法>

- G: 鉄ミョウバン 0.046mol (22.00g)
 H: 鉄ミョウバン 0.046mol (22.00g) + ホウ砂 0.023mol (8.84g)
 I: 鉄ミョウバン 0.046mol (22.00g) + ホウ砂 0.005mol (1.907g)
 J: 鉄ミョウバン 0.046mol (22.00g) + ホウ砂 0.002mol (0.763g)
 K: 鉄ミョウバン 0.046mol (22.00g) + ホウ砂 0.001mol (0.381g)

<密度拡散法>

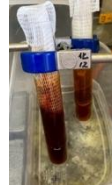
- (1) 鉄ミョウバンとホウ砂の割合が上記のようになるように溶液を調整した。
- (2) 実験 1 と同様に装置を設置し、水温約 12°C の環境で行った。

<蒸発法>

- (1) 鉄ミョウバンとホウ砂の割合が上記のようになるように溶液を調整した。
- (2) G, H において、実験 1 と同様に、アクリルケースに溶液をいれる。
- (3) 水温を保つために高温水循環装置で溶液の水温を 20°C 程度に保ち、12 月 9 日から 12 月 23 日までの 14 日間放置した。(図)
- (4) I, J, K において、試験管に溶液を入れ、種結晶をつるし、12 月 27 日から 1 月 7 日まで放置した。その後変化がなく、また、溶液が濁

りを呈したためろ過し、容器をビーカーに移し替えた。

- (5) 恒温器で温度を 20°C に保ち溶液を蒸発させた。



左: 密度拡散法 E, F 中: 蒸発法 G, H 右: 蒸発法 I, J, K

2-4. 実験 4: 鉄ミョウバンと LAS

- L: 鉄ミョウバン 0.046mol (22.00g) + LAS 溶液 (19%) 20ml
 M: 鉄ミョウバン 0.046mol (22.00g) + LAS 溶液 (19%) 10ml
 N: 鉄ミョウバン 0.046mol (22.00g) + LAS 溶液 (19%) 5ml

実験 4, 5 の LAS 溶液には市販洗剤のアクロンを用いた。先行研究では市販の LAS が含まれる洗剤が使われていたためである。

- (1) 鉄ミョウバンと LAS の割合が上記のようになるように溶液を調整した。
- (2) 試験管に溶液を入れ、種結晶をつるし、12 月 27 日から 1 月 7 日まで放置した。
- (3) その後、結晶成長が見られなかったため、ろ過し、ビーカーに移し替えた。
- (4) 恒温器に入れ 20°C に保ち溶液を蒸発させた。

3-5. 実験 5: カリミョウバンと LAS

- O: カリミョウバン 0.046mol (22.00g) + LAS 溶液 (19%) 20ml
 P: カリミョウバン 0.046mol (22.00g) + LAS 溶液 (19%) 10ml

- (1) カリミョウバンと LAS の割合が上記のようになるように溶液を調整した。
- (2) 試験管に溶液を入れ、種結晶をつるし、12 月 27 日から 1 月 7 日まで放置した。



実験 4



実験 5

結果 (Results)

3-1. 実験 1 : カリミョウバンとホウ砂 <密度拡散法>

A では一辺 13.0 mm の正 8 面体が, B では 5.5 mm × 5.7 mm × 6.0 mm の立方体の結晶が生成した。



A



B

<蒸発法>

A では各辺 13.0 mm × 13.0 mm × 9.0 mm の 8 面体が, B では 5.8 mm × 8.9 mm × 8.6 mm の立方体が生成した。蒸発法でもホウ砂の作用でミョウバンが立方体になることが確認できた。ただ, 結晶の向きを変えるタイミングの調整が難しく, A, B ともに完全な正八面体, 及び立方体にはならなかった。

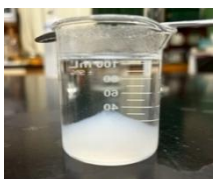
A

B



3-2. 実験 2: NaOH で pH を調整

水酸化ナトリウムを入れると白色沈殿が生成した。ろ過して放置したところ, ミョウバンと水酸化ナトリウムを mol 比で 2:1 及び 1:1 で混合したものどちらからも 8 面体結晶が析出した。



左: 白色沈殿



右: 生成した結晶

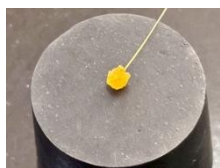
3-3. 実験 3: 鉄ミョウバンとホウ砂

<密度拡散法>

E では薄紫色の 12 mm ほどの 8 面体結晶が生成した。F では黄色がかったいびつで微小な結晶が生成した。



E



F

<蒸発法>

G では微小な 3mm~8mm の 8 面体結晶が複数生成した。

H では黄色がかった 5mm~8mm の 8 面体結晶が複数生成した。



G



H

I ではホウ砂の微結晶が生成した。J, K では何も生成しなかった。



I



J

K

3-4. 実験 4: 鉄ミョウバンと LAS

L では薄紫色の 5mm 程度の結晶と 2 mm 程度の結晶が複数生成した。

M では薄紫色の 8 mm 程度の結晶と 3mm~5mm の結晶が複数生成した。

N では誤って水分がすべて蒸発してしまい, 結果は得られなかった。



L



M

3-5. 実験 5: カリミョウバンと LAS

O では 5mm 程度の 8 面体結晶が生成した。

P では 7mm 程度の 8 面体結晶が生成した。O, P ともに形がいびつなのは一度成長した結晶が時間経過で溶液に一部溶けてしまったからである



O



P

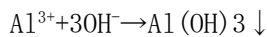
4. 考察 (Discussion)

4-1. 実験 1. カリミョウバンとホウ砂

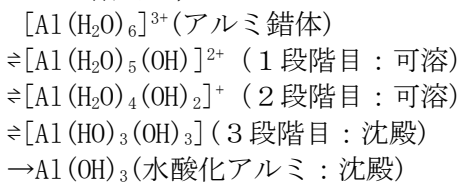
ホウ砂はカリミョウバンに対し媒晶効果を持つことが確認できた。また、B の大きさは実験 1 と比べ、同じ濃度、静置時間の実験だったが約 2.3 倍体積が大きくなったことがわかった。このことから、蒸発法は結晶を大きく成長させる上で有利な簡便法であることがわかった。

4-2. 実験 2. NaOH で pH を調整

白色沈殿が生じたがここでは、



が起きていると考えられる。ミョウバンの結晶に使えるアルミ錯体の量が水酸化物イオンによって減少したのにもかかわらず、ミョウバンが晶相変化を起こさなかった。理由として挙げられるのは、単純にアルミ錯体の数を減少させてしまったということである。アルミ錯体と水酸化物イオンの反応は段階的で、



のような反応が起こる。

ホウ砂ではこの反応の 1 段階目、あるいは 2 段階目の反応が起こっていたと推測される。その場合、アルミ錯体は完全に使えない形とはなっておらず、使える形と使えない形を行き来している。

アルミ錯体と反応を起こす媒晶剤として必要な要素として考えられるのは、

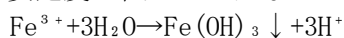
- (1) アルミ錯体を沈殿させない
 - (2) 反応したアルミ錯体が一時的に結晶表面に吸着し、ほかのアルミ錯体の吸着を阻害する
 - (3) 結晶表面からすぐ離れられる
- である。

よって、水酸化ナトリウムでの pH 調整では不可逆な沈殿が生じてしまうため媒晶剤として適さないと考えられる。

4-3. 実験 3. 鉄ミョウバンとホウ砂

実験 3 において、鉄ミョウバンにホウ砂を添加しても、立方体結晶は確認できなかった。

以下の反応式のように Fe^{3+} が加水分解しやすく、錯体安定度が低いのではないかと考えられる。



またはクロムミョウバン同様に鉄錯体と不可逆的に反応し、結晶成長に使える分子が不足したと考えられる。

実験 4, 5 LAS が失敗した理由

本研究において LAS を用いた条件では、晶相変化は確認されなかった。これは、今回使用した試薬が市販洗剤であり、LAS 以外の界面活性剤や添加剤を含んでいたことが主な要因であると考えられる。

水/ポリオキシエチレンアルキルエーテル/直鎖アルキルベンゼンスルホン酸/エチルアルコール/ポリエチレングリコール/ステアリン酸ジメチルアミノプロピルアミド/水酸化ナトリウム/シリコーン/クエン酸/BHT/シリコーンエマルジョン

これらの不純物は溶液の pH やイオン環境に影響を与え、結晶成長過程における条件を不安定にした可能性がある。その結果、LAS 本来の媒晶作用を十分に評価できなかったと考えられる。

5. 反省, 今後の課題 (Future Work)

時間がなくてしっかり準備して実験できなかった。先行研究が少なかったため、無駄な工程が入ったりしてしまった。

今後は Fe^{3+} 錯体の安定化条件を探りたい。純粋な LAS を媒晶剤とした実験をしたい。また、なぜ LAS が {100} 面に吸着すると考えられているのか明らかにしたい。

7. 引用・参考文献

- [1]. manzana. (2023 年 05 月 03 日). ミョウバンの結晶づくり part5 (晶相変化による立方体結晶の育成) | How grow alum crystals part5 (cubic crystals by habit change). 参照先: <https://www.youtube.com/watch?v=wh6Dy4TwIrI&list=PLZDSIbHFCECVpljAMLs9wP2W42NepxxXX&index=5>
- [2]. manzana. (2023 年 12 月 22 日). ミョウバンの結晶づくり part6 (混晶 + 晶相変化) | How grow alum crystals part6 (mixed crystal + habit change). 参照先: <https://www.youtube.com/watch?v=Ny7ev5k8yFY>

昆虫最強決定戦

—昆虫の最強を決める—

研究者 2年1組 17番 東條琥珀 2年4組 27番 永井陽大
2年1組 20番 中島悠都 2年6組 2番 赤羽純太郎

1. 研究目的

誰しも一度は考えたことがある昆虫の最強を決めたいと思った。カブトムシやクワガタなどよく出るトピックとしてぴったりだと思ったので研究してみる。

2. 先行研究

先行研究では、一番強いのはやはりメジャーなカブトムシ、漫画刃牙からお馴染みのカマキリ、空からの勝負を持ちかけることのできるスズメバチなどの意見が散見された。

①カブトムシ

一番メジャーで「強い昆虫は？」と聞かれたら真っ先に答えてしまうような存在感を持った昆虫である。実際、重い体と大きなツノ、そのツノから出せる馬力などはどれをとっても一級品だ。そして何よりも敵からの攻撃を受け付けない硬い装甲(外骨格)がある。

②スズメバチ

空中からの攻撃が特徴で、多量の毒を相手に打ち込むことができる。今回は一対一想定戦の戦いだだが、スズメバチの強さは集団でこそ発揮される。

③カマキリ

前述にもあったとおり、人間と同じ大きさにしたら最強と名高いカマキリ。一番大きい個体で10cmほどの体長となる。大きな鎌で昆虫だけではなくカエル、トカゲ、ヘビなどを捕食することもある。

④カミキリムシ

樹木をも削る強靱な顎を持っている。髪切虫の由来は人の髪を切ってしまうほどの切れ味を持つことである。

⑤クワガタ

大顎で相手を挟み込む。体が薄いことが逆に敵に攻撃をさせにくくする。

⑥バッタ

高い飛翔力を持っており、100mをも簡単に超えてしまうほどのジャンプ力がある。組織力に定評のある昆虫なので1対1は微妙



(図1) 昆虫館で見たヘラクレスオオカブト

3. 研究方法

実際に博物館(パラダ昆虫館)などで実物を見てどのような強さがあるのかをこの目でツノの大きさや体の大きさ、敵からの攻撃に耐えるためにどのような工夫がされているのかを確認する。

そのうえで、自分たちでいくつか項目を作って一番強いであろう昆虫を決める。カブトムシをおおよその平均値として相対評価で作る。

(図2)…博物館で撮った昆虫の標本



上の写真を見ても分かる通り、カブトムシはカブトムシでも様々な種類がいる。

そこで、強さを一般化するために様々な観点から昆虫を数値化して戦わせてみようと思う。

ここで、「**環境への適応力**」という観点で考える。

これは、(1)環境耐性 (2)生存戦略 (3)繁殖力 (4)行動の柔軟性 (5)人間環境への適応力の5つの項目からなる

それぞれ、

(1)暑さや寒さなどの温度変化、乾燥や水中などの生活環境への強さ

(2)擬態や毒、硬い殻などの自分を守る力

(3)一生でどれだけの子孫を残すことができるか、成長速度はどのくらいか

(4)単独から集団への適応能力、餌や住居の柔軟性

(5)人間の生活圏でどれだけ生きることができるか

ということをもとに点数化(各項目10点ずつ)して考えていきたいと思う。

4. 結果・考察

① 環境耐性 (0~10点)

点数	評価基準
0~2	特定の環境でしか生きられない
3~4	環境変化に弱い
5~6	普通の昆虫レベル
7~8	幅広い環境に対応
9~10	極端な環境でも生存可能

評価例

- キブリ：10点（暑さ・寒さ・飢餓に強い）
- チョウ：5点（気温や植物に依存）

② 生存戦略 (0~10点)

点数	評価基準
0~2	防御手段がほとんどない
3~4	1つだけ防御方法を持つ
5~6	平均的な防御能力
7~8	複数の戦略を持つ
9~10	非常に効果的な戦略を持つ

評価例

- カマキリ：9点（待ち伏せ・保護色）
- ハエ：8点（高速移動・反射行動）

③ 繁殖力 (0~10点)

点数	評価基準
0~2	繁殖数が少ない
3~4	一般的より少ない
5~6	普通
7~8	多い

9~10

非常に多く、成長が速い

評価例

- ハエ：10点（短期間で大量繁殖）
- カブトムシ：6点（繁殖数は普通）

④ 行動の柔軟性 (0~10点)

点数	評価基準
0~2	行動パターンがほぼ固定
3~4	限られた選択肢
5~6	平均的
7~8	状況で行動を変えられる
9~10	集団・単独を使い分ける

評価例

- アリ：10点（高度な社会行動）
- カブトムシ：6点（単独行動が中心）

⑤ 人間環境への適応力 (0~10点)

点数	評価基準
0~2	人間環境では生存不可
3~4	一部で生存可能
5~6	農地などで生存
7~8	都市周辺で生存
9~10	建物内でも繁殖可能

昆虫名	①環境耐性	②生存戦略	③繁殖力	④行動の柔軟性	⑤人間環境適応	合計
ハチ	7	9	6	8	8	38
カマキリ	5	6	5	4	4	24

カブ 6 7 4 3 4 24
トムシ

バッタ 7 5 7 6 5 30

クワ 6 8 4 3 4 25
ガタ

トン 6 6 5 7 3 27
ボ

ゴキ 10 9 10 8 10 47
ブリ

1 カブトムシ

環境耐性 6
高温多湿に強いが寒さに弱く冬は生きられないこと。

生存戦略 7
オスのツノは天敵やライバルを追い払う役割を持つ。
硬い外骨格で身を守る。

繁殖力 5
卵の数は多いが、成虫の寿命が短い
幼虫期間が長く、成長に時間がかかる

行動の柔軟性 4
単独行動のみで行動パターンがかなり決まっている
環境が変わると対応できない

人間環境適応力 3
都市部では自然で生きることが難しい

2 カマキリ

環境耐性 5
草地・林・農地など、ある程度広い環境で生息できる。
しかし強い寒さには弱いため越冬出来ない。

生存戦略 6
鎌状の前脚と保護色（緑色・茶色）による擬態奇襲型の狩りで成功率が高い。毒などの「強力な防御手段」を持たないので鳥などには捕食されやすい。

繁殖力 5
1回の産卵数は多いが成虫になるまでの死亡率が高いため
個体数増加は平均的。

行動の柔軟性 4
餌は昆虫中心で限定的、環境変化への行動切り替えが少ない、
行動の幅が狭く、柔軟性は低め。

人間環境適応力 4 公園
園・農地など人の手が入った環境には生息できる。しかし、
建物内では生存不可都市中心部では個体数が少ない

3 ハチ

環境耐性 7 生息域は森林・草地・農地・都市周辺まで幅広く、
気温変化にも比較的強い。減点理由は冬に成虫はほぼ生き残れず、
女王のみ越冬でき、極端な寒冷地・乾燥地には弱い、
多様な環境に対応できるが、極端条件への耐性は中程度。

生存戦略 9
強力な毒針による攻撃、防御警告色（黄色と黒）で天敵に危険を知らせる、
フェロモンで仲間を呼び集団で防衛、人間を含む大型動物にも効果がある
防御手段、昆虫界でもトップクラスの防御・威嚇能力。

繁殖力 6 卵は少ないが死亡率は低い

行動の柔軟性 8 明確な役割分担、餌の種類が幅広い、
巣の場所を環境に応じて選択、社会性昆虫として非常に高い柔軟性を持つ。

人間環境適応力 8 民家・公園・橋の下など人工物にも巣を作り人間の
食べ残しを利用して生存可能、人に駆除されることがあるが
人間環境をうまく利用する適応力が高い。

4 バッタ

環境耐性 7 草地・農地・河川敷など幅広い環境に生息。高温・乾燥に
比較的強い飛翔能力により不利な環境から移動できる。減点理由は
強い寒さには弱く、越冬出来ない点

生存戦略 5 高い機動力や擬態が強み。減点理由は毒や硬い外骨格などの
強力な防御手段がない

繁殖力 7 産卵数が多く、成長が比較的速く、条件が良いと個体数が急増する

行動の柔軟性 6 餌となる植物の種類が多い。移動範囲が広く、
環境変化に対応可能だが寒さに弱い。

人間環境適応力 5 農地・公園など人為的環境で生存可能。ただし都市中心部では生息しにくい

5 クワガタムシ

環境耐性 6 森
林環境に強く、温帯地域では環境変動を受けにくい。
減点理由は生息環境が森林に限定されやすい

生存戦略 8 硬
い外骨格大顎による防御・威嚇、樹皮や朽木に隠れる
行動

繁殖力 4 産卵
数は少なめ成虫になるまでに長期間を要する

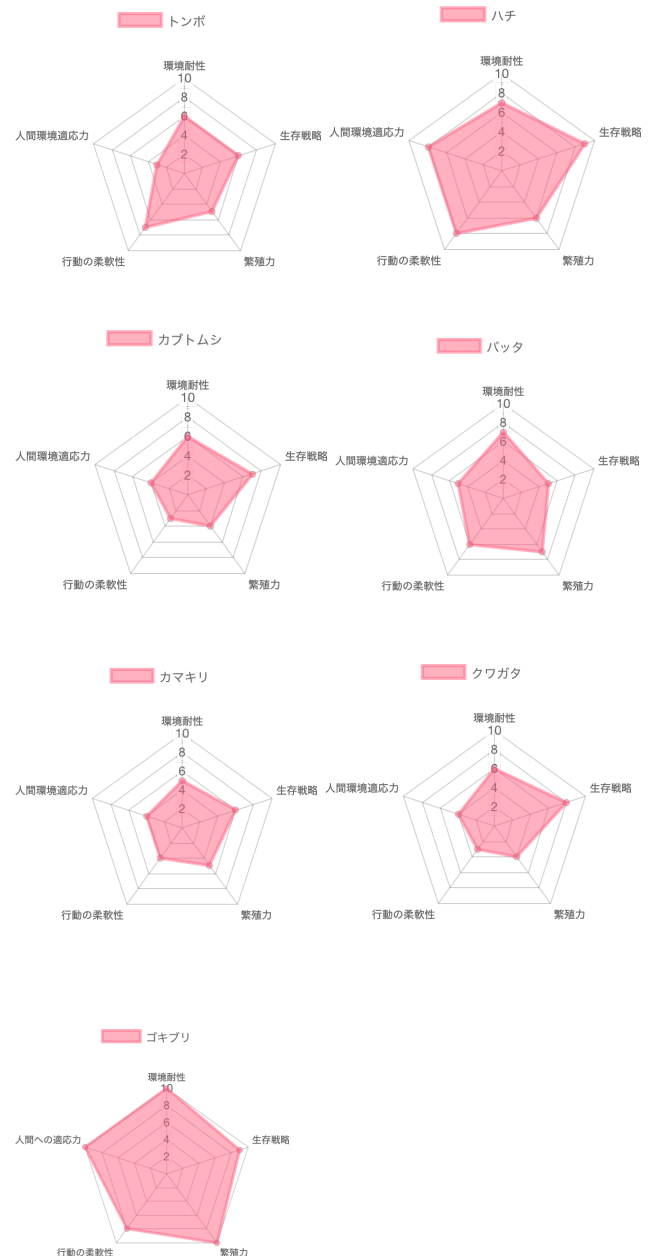
行動の柔軟性 3 行
動が単純で夜行性に偏る。餌（樹液など）が限定的

人間環境適応力 4 里
山では生息可能。都市化が進むと生息地が減少

行動の柔軟性 8 雑
食で何でも食べる、単独行動が基本だが、フェロモン
で情報共有もできるが高度な集団戦術は出来ない

人間環境適応力10 建
物・下水・台所など人間環境に完全適応、人間の対策
に進化で対抗（殺虫剤耐性）。

(図3)…7種の昆虫のグラフ



6 トンボ

環境耐性 6 幼
虫（ヤゴ）は水中、成虫は陸上と空中で生活環境変化
にある程度対応。減点理由は水質悪化に弱い

生存戦略 6 高
い飛行能力空中での優れた捕食能力。減点理由は防御
手段が少ない

繁殖力 5 産
卵数は多いが、水環境に依存幼虫期の死亡率が高い

行動の柔軟性 7 広
範囲を移動でき餌となる昆虫の種類が多い

人間環境適応力 3 汚
染された水域では生存困難なため都市では個体数が少
ない

7 ゴキブリ

環境耐性 10 高
温・低温・乾燥に強く数週間エサなしでも生存可能

生存戦略 9
素早い動き、暗所行動で見つかりにくい平らな体で狭
い隙間に逃げ込める。

繁殖力 10 硬
い殻を持った卵を大量に産み、成長が速いため世代交
代が早い。年中繁殖可能

5. 自分の提案

環境への適応力がどれだけ優れているかを評価基準にして考えると一番強いのはゴキブリだという結論に至った。その理由を各評価項目ごとに解説していく

まずは環境耐性の項目から見ていく。乾燥高温には他の昆虫たちと同程度の耐性を持ちながら他の多くの昆虫には出来ない越冬を可能にする寒さ耐性を持っているため気温の変化には昆虫界屈指の強さを持っている。その上数週間

餌がなくても生きていけるので環境耐性は今回比べた7匹の昆虫の中では最強と言えるだろう。

次に生存戦略の項目を見ていく。ゴキブリは高い機動力と平らな体を活かし物の隙間などを移動し生活している。ゴキブリの主な生息地である暗く狭い空間ではこの生存戦略は最適解と言えるだろう。

次に繁殖力の項目を見ていく。一生で約500匹の卵を産む産卵数に加え、卵には卵鞘(らんしょう)という殺虫剤の効きにくい硬い殻があり成長速度も速いため死亡率も少ない。さらに暖房のある屋内なら年中繁殖可能なため繁殖力においてゴキブリの右に出る虫はいないだろう。

次に行動の柔軟性の項目を見ていく。ゴキブリは雑食なためどんな環境にも柔軟に対応することが可能。さらに単体でも集団でも活動できるのでゴキブリの行動の柔軟性はかなり高いと言えるだろう。

最後に人間環境適応力の項目を見ていく。前述した通りゴキブリは高い環境耐性、隙間に入り込みやすい体、早い世代交代による薬剤耐性の獲得、なんでも食べる雑食性などの能力を持っており人の家などの人間環境には完全に適応している。

このようにゴキブリはどの項目を見てもトップレベルの能力を持っているため、今回比べた7匹の昆虫の中ではゴキブリが1番環境への適応力が高いと言えるため、1番強いのはゴキブリという結論に至った。

途中から昆虫の強さは1体1ではなく環境へどのようなアプローチをしているのかということが大切ということに気づいた。本当の強さは単なる力で決まるものではない。

6. 今後の課題

今後は昆虫だけでなく、他の爬虫類や哺乳類でも強さを考えてみたいと思う。

7. 引用・参考文献

<https://www.nature-engineer.com/entry/2019/04/17/080000>

<https://morimirai-ikimono.com/blog/strongest-insect-ranking/>

周波数

一年齢や音楽歴によって違いはあるのか？

研究者 2年6組 12番 氏名酒井悠名
2年6組 6番 氏名石井優美子

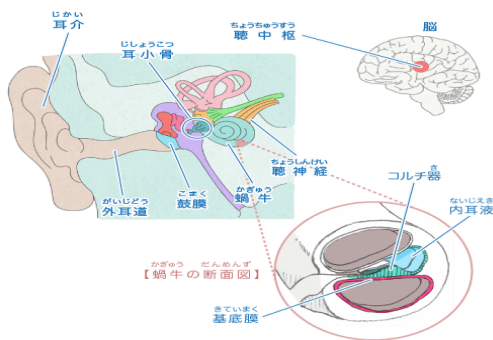
1. 研究目的 (問題意識)

身の回りにはたくさんの音で溢れかえっているが、周波数の違いで人によって聞こえる音、聞こえない音がある。そこで、年齢、音感、性別などの違いによって聞こえる周波数の違いがあるかどうか、また、あったとしたらどのような関係性なのかを調べることにした。

2. 耳に関する基本知識

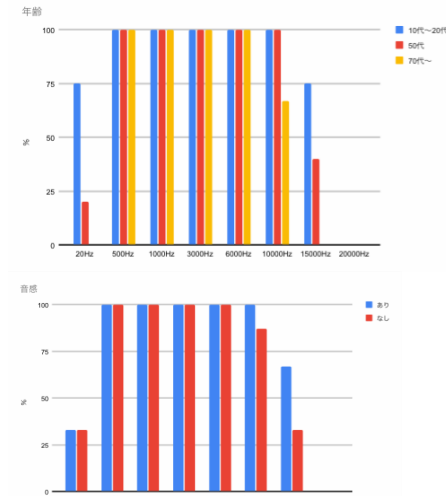
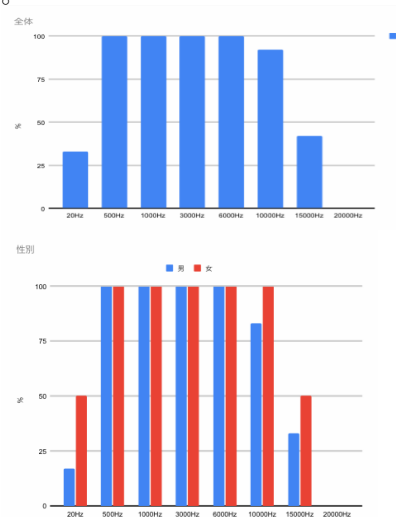
(1) 耳はどのようにして音を聞いているのか？

音の振動は耳介から音を集める外耳道を通り、鼓膜から音を大きくして伝える耳小骨に伝える。耳小骨で音の大きさを調整して、蝸牛という音を電気の信号に変える器官から聴神経を通り、大脳に届く。



(2) 夏休みの結果

- ① スマホのアプリを用いて家族や親戚にさまざまな周波数の音を聞かせて聞こえるかどうかを調べる。
 - ・ 周波数の段階は、①20Hz、②500Hz、③1000Hz、④3000Hz、⑤6000Hz、⑥10000Hz、⑦15000Hz、⑧20000Hzの8段階。
 - ・ 音の大きさの段階は1つとする。
 - ・ 被験者について、①年齢、②性別を聞く。
- ② 聞こえる周波数と音感関係も調べるため、(今回は絶対音感)
 - ・ ピアノの音のサンプルを聞いてもらい、音程を当ててもらおう。
 - ・ 被験者には音楽経験が、3年以上あるかどうかを聞く。
 - ・ 6問中4問正解→音感あり。6問中3問以下正解→音感なしとする。
- ③ 集めたデータをグラフにして関係性があるか調べる。



全体的にどのグラフも同じようになったので人による違いはあまりなさそうに見えるが、データが少なすぎるので、これからデータを増やす必要がある。また、10000Hzと15000Hzの間、15000Hzと20000Hzの間の変化が大きいので、それらの間にもう少し周波数を増やして実験する必要がある。

以上の夏休みの結果・成果からもう一度実験を行う。

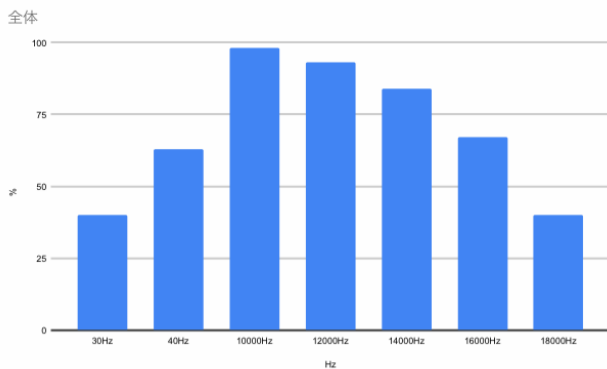
3. 研究方法

- (1) スマホのアプリ、Google Formを用いてアンケートをとる。
 - ・ 周波数の段階は、①30Hz、②40Hz、③10000Hz、④12000Hz、⑤14000Hz、⑥16000Hz、⑦18000Hzの7段階
 - ・ 音の大きさの段階は1つとする。
 - ・ 被験者について、①年齢、②性別を聞く。
 - ・ 被験者には音楽経験が、3年以上あるかどうかを聞く。
- ※20Hz、20000Hzは夏休みの実験で聞こえると回答した人がほぼおらず、また500Hz、1000Hz、3000Hz、6000Hzは全員が聞こえると回答したため、また改めて実験する必要はないと判断した。
- ※絶対音感を調べるのは困難と判断したため、音楽経験のみを聞くこととした。
- (3) 集めたデータをグラフにして関係性があるかどうかを調べる。

4. 結果・考察

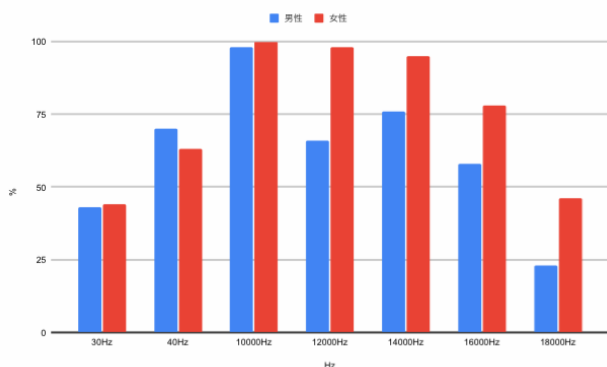
- (1) 今回のアンケートで70人の方々に協力してもらった。
 - 性別 男性：30人 女性：39人
 - 年齢 ~15歳：11人 16歳~25歳：27人
 - 26歳~35歳：6人 36歳~45歳：6人
 - 46歳~55歳：11人 56歳~：9人
 - 音楽経験 ある：37人 ない：33人

- (2) 項目ごとグラフにまとめる。縦軸は%にして聞こえる割合を棒グラフにした。
- ① 全体



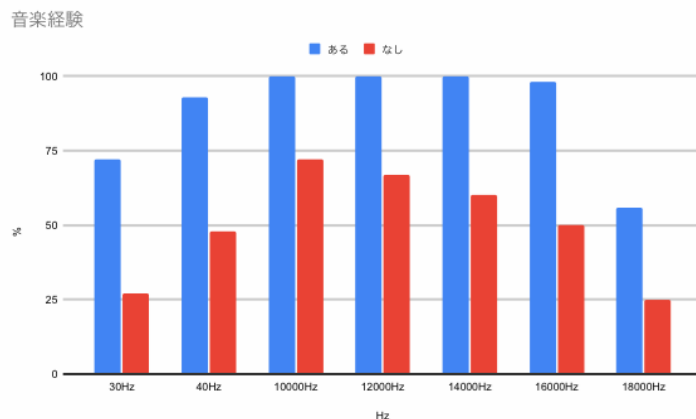
10000Hzが山で緩やかな山型のグラフになった。

②性別



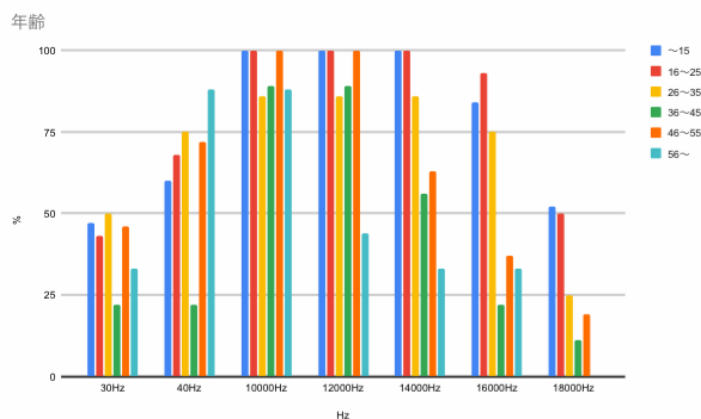
40Hzでは男性の方々の方が聞こえている割合が高くなっている。それ以外では女性の方々の方が聞こえる割合が高くなっている。

③音楽経験



音楽経験のあるの方々の方が聞こえる割合が高くなっている。特に30Hz、40Hzは差が顕著になっている。

④年齢



全体的には16~25歳の方々の方が聞こえる割合が高くなっているが、18000Hzでは0~15歳の方々の方がわずかに16~25歳の方々よりも聞こえる割合が高くなっている。

56~歳の方々は40Hz、10000Hzでは聞こえる割合が80%前後であるが、それ以外では50%を下回るなど聞こえる割合が低くなっている。

5. 考察

(1) 項目ごと

(一)性別

②のグラフから全体的に女性の方が聞こえやすいと分かった。

(二)音楽経験

③のグラフから音楽経験のあるの方々の方が聞こえやすいと分かった。

(三)年齢

④のグラフから高い周波数は年齢が若いほど聞こえると予想していたので、意外であった。56~歳の方々は高い周波数よりも低い周波数の方が聞こえやすいと分かった。どの年代でも1番聞こえるのは10000Hzあたりと分かった。

(2) 全体として

夏休みの結果と2回目の実験と比較してどの年代でも聞こえるのは500Hz~1000Hzと分かった。

6. 今後の課題

今回の実験で分かったことが社会にどのように役立てることができるかが分からないので、どのように活かしていくかを見つけるのが課題である。

7. 引用・参考文献

<https://apps.apple.com/jp/app/%E5%91%A8%E6%B3%A2%E6%95%B0%E9%9F%B3%E6%B3%A2%E7%99%BA%E7%94%9F%E5%99%A8/id6478711398> (周波数発生器アプリ)

<https://nobelpark.jp/contents/komakunavi/sound/> (Nobel Parkより)

<https://kikoe.ne.jp/hearing-loss/dominant.php> (きこえお助け隊より)

<https://www.chugai-pharm.co.jp/ptn/medicine/karada/karada003.html> (中外製薬株式会社より)

口臭大作戦

～匂いと戦おう！！～

研究者	2年5組25番	氏名	中曽根環
	2年2組16番	氏名	遠山航世
	2年3組32番	氏名	三井結翔
	2年3組39番	氏名	山岸蒼空

1. 研究目的 (問題意識)

私たちは生活の中での「不快な匂い」に目を向け、まず身近な私たちの口臭について調べたいと思ったから。

また、一般的に消臭効果があるとされる代表的な食品を用いて口臭の軽減効果を確認し、その後、それらと同じ成分を含む食品や飲み物でも同様の消臭効果が得られるのかを調べ、さらに、あまり消臭効果があることを知られていない食品や飲み物についても検証を行い、口臭を抑える新しい可能性を明らかにしたいと思ったから。

2. 現状 (先行研究の分析)

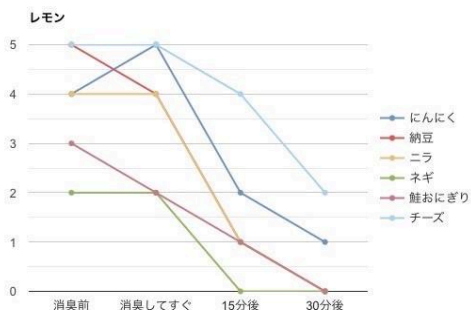
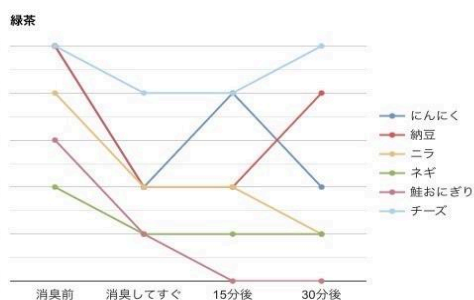
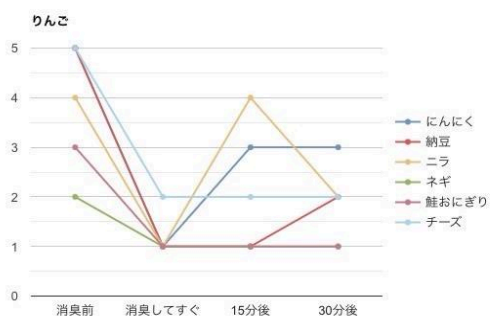
(1) (原因・現状 1)

中間発表までの研究

実験①

匂いのあるもの(にんにく、納豆、ニラ、ネギ、鮭おにぎり、チーズ)を食べて口臭チェッカーで匂いレベルを確認し、次に一般的に消臭効果があるとされる代表的な食品(りんご、緑茶、レモン)を用いて、消臭してすぐ、15分後、30分後の口臭の軽減効果を確認する

結果



りんごと緑茶は消臭してすぐは全てのものの匂いレベルが下がっている→速効性がある

レモンは消臭してすぐはあまり匂いレベルが変化していないが、時間が経つにつれて消臭効果が見られた→遅効性がある

3. 仮説

この研究からリンゴや緑茶が含むポリフェノールには速効性、レモンが含む酸には遅効性が消臭効果としてあるのではないかと。

他にも先行研究がないポリフェノールと酸を含むもので消臭できるのではないかと。

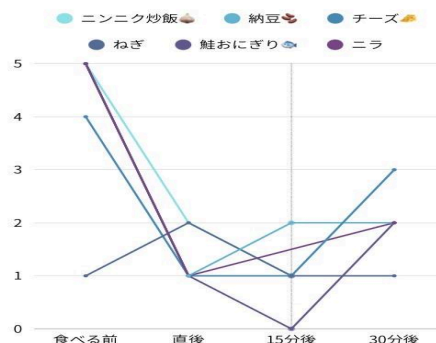
4. 研究方法

実験②

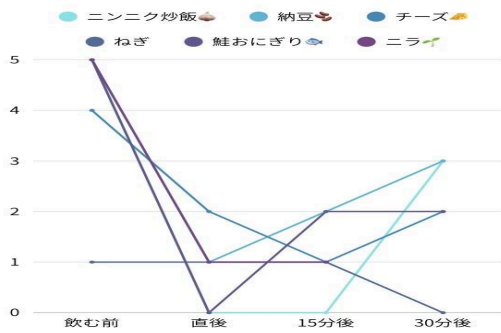
仮説から先行研究のないポリフェノールを含むそば茶と柿の皮、酸を含むゆず、ピクルスで実験①と同様の実験をする

5. 結果②

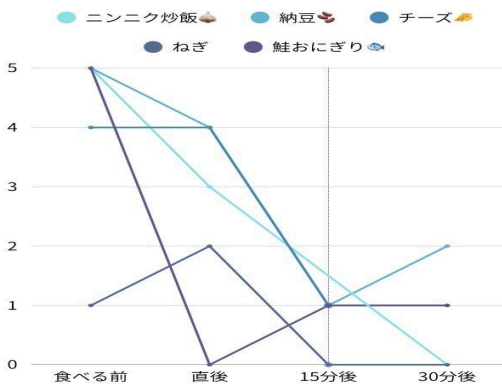
柿の皮



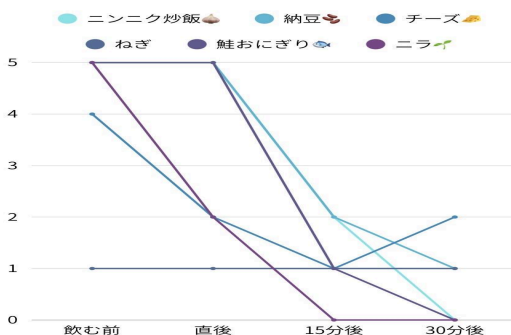
そば茶



ピクルス



ゆず



考察

結果②より、ポリフェノールを含んだ柿の皮とそば茶では摂取直後は匂いレベルが大きく下がっているが、15分後、30分後で匂いレベルが少し上がってしまう傾向がみられたため速効性であると判断でき、酸を含んだゆず、ピクルスでは摂取直後の変化は比較的に小さいが、15分後や30分後に数値が下がる傾向がみられたため遅効性であると判断できる。よって、ポリフェノールには速効性、酸には遅効性があるという実験①

での結果と同様の結果が出たため、実験①からたてた「ポリフェノールには速効性、酸には遅効性が、それぞれ消臭効果としてあるのではないか。」という仮説が立証されたことが分かる。

また、先行研究のないポリフェノールを含むそば茶と柿の皮、酸を含むゆず、ピクルスで消臭することができたため、「先行研究がないポリフェノールと酸を含むもので消臭できるのではないか。」という仮説も立証されたことが分かる。

6. 提案

酸には遅効性、ポリフェノールには速効性の消臭効果があり、それぞれの特徴があるためその場や状況に合わせて適したものを食べることで良い消臭効果が見られる。

その他にも酸、ポリフェノールを含んだ食べ物は多くあり、自分の好みに合った食べ物を選ぶというのも良い活用法だと思う。

しかし、今回実験をしたねぎのような例外となり得る食べ物も数多く存在することが予想されるため、酸やポリフェノールの消臭効果を過信しすぎることも危険だといえる。このような危険もあるということをしっかりと理解してこれらを上手く活用して日常に取り入れていくことを提案する。

7. 今後の課題

今回の研究において、速効性と遅効性を両方同時に食べてみるなどのさらに1歩深めた研究については出来なかったため、今後は複数の食品を組み合わせることで、消臭効果の現れ方や持続時間にどのような変化が生じるのかを詳しく調べていきたい。

また、ポリフェノールには約5000種類以上が存在し、食品によって種類や含有量が異なるが、今回はポリフェノールの種類や濃度の違いまで調べることができなかったため、今後は成分の違いが消臭効果にどのような影響を与えるのかを明らかにしていきたい。

さらに今回のねぎのように酸やポリフェノールに対して消臭効果を発揮しづらい食べ物に共通性があるのかや、どんな食べ物が他にはあるのかなどを調べていきたい。

8. 参考

「wakanote」
<https://share.google/AvFpAtK1BxDU0gzdP>

「株式会社シケンコラム」
<https://share.google/AEy6qxM0StnqP07qI>

“自分ごと”としての糖尿病

—病と向き合う視点の変化—

研究者 2年 1組 22番 平林尚真
2年 1組 12番 黒岩律希
2年 4組 26番 豊永陽一

1. 研究目的

現在、日本国内における糖尿病患者数は増加傾向にあり、中高年層のみならず若年層の発症例も多く報告されている。若年層における発症は、食生活の乱れ、運動不足、肥満、および家族歴等の生活習慣や環境要因に強く起因している。しかし、若年層の間では「糖尿病は高齢者だけの疾患である」という認識が根強く、自分自身の健康課題として受け入れられていない現状がある。このような当事者意識の欠如は、疾患の予防や早期発見を妨げる要因となりうる。本研究では、高校生の視点から地域住民に対し情報発信を行い、糖尿病を「自分ごと」として捉え直す機会を提供することを目的としている。

2. 現状と目的

本活動は、医師、看護師、管理栄養士、薬剤師、臨床検査技師、理学療法士と連携して実施した。

(1) 発表内容の作成

- ・糖尿病の基礎知識：I型、II型の違いやおよび発症リスクの解説。
- ・食事及び栄養管理：血糖コントロールに有効な食事例や生活習慣に合わせた指導。
- ・運動習慣：日常生活で取り入れやすい運動方法と血糖管理への影響。
- ・チーム医療について：医師、看護師、管理栄養士、その他医療従事者の役割を簡潔に説明。

(2) 市民への情報提供

- ・世代別に理解しやすい形式で発表を行い、質疑応答を取り入れた。
- ・ケーブルテレビを用いて糖尿病フォーラムの番宣を行い、地域住民への認知拡大を図った。

(3) 評価の収集

フォーラム終了後にアンケートを実施し、発表内容の理解度や改善点を収集した。

→ケーブルテレビによる糖尿病フォーラム番宣時の写真



3. 結果・分析

(1) 発表内容の理解度向上

食事・栄養管理や運動習慣、チーム医療などを糖尿病と交えて説明した結果、糖尿病を「年配者だけの病気ではなく、自分にも関係する健康課題として認識できた」という意見が寄せられた。特に生活習慣を改善することの重要性に触れた部分は理解度が高く、日常生活にもいかそうとする参加者が多くみられた。



(2) 参加者からのフィードバック

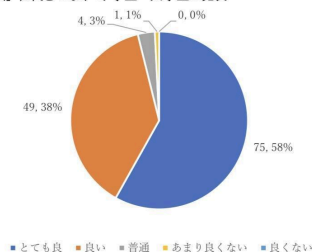
参加者からの肯定的な意見としては「基礎知識が整理され理解しやすかった」「生活習慣改善の方法を具体的にイメージできた」などが多く寄せられた。一方で「情報量が多く感じた」等の意見も寄せられた。

(3) 番宣の効果

「糖尿病フォーラムの告知を見て参加することを決めた」という方が一定数いた。このことから告知により若年層の糖尿病への理解が広まったといえる。

■各イベントについて教えてください

5. [企画] 世代をつなぐ 小学生～大学生の発表



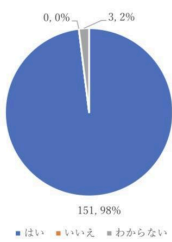
グラフ1 発表への評価

4. 考察

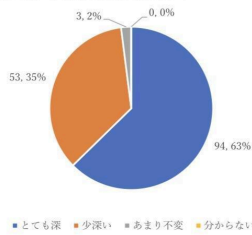
本研究の結果、グラフ2およびグラフ3より、高校生主体の発表は糖尿病に対する若年層の理解を深める上で重要であるとわかった。

アンケートでは96%が「とても良い」「良い」と回答し、糖尿病の基礎知識や生活習慣、チーム医療の大切さを伝える重要性が明らかとなった。また、質疑応答を通して参加者が糖尿病を自分の生活に結びつけて考えるようになったことや、ケーブルテレビの活用が参加促進につながったことから、対話及びメディア活用の有効性も示された。さらに医療専門職との連携により、病気への正確な理解や多方面からの支援の重要性が伝わり、結果として参加者の生活習慣改善や健康行動への意識に影響を与えたといえる。

11. 今後、自分や家族の健康づくりに活かそうですか？



10. 糖尿病に関する理解は深まりましたか？

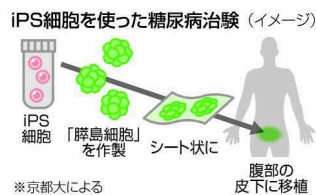


グラフ2 健康意識の変化 グラフ3 糖尿病理解の深化

5. 糖尿病の「これから」と今後の課題

(1) 新しい治療法としてのiPS細胞

糖尿病治療の未来を変える技術として期待されているのが、iPS細胞から作製した「膵島細胞シート」を用いた移植医療である。この治療法は特に、生活習慣に関わらずインスリン分泌能が失われる「I型糖尿病」の根本的な治療法として注目されている。従来の細胞移植では、移植した細胞が体内で分散してしまう課題があったが、シート状にして移植することで、細胞同士の連携を保ちながら高密度に配置することが可能となる。これにより、体内の血糖値を感知して、必要な時に必要な量のインスリンを自律的に分泌する「生体に近い機能」の再構築が期待されている。



(2) 実用化に向けた課題

iPS細胞から作製した膵島細胞（インスリンを出す細胞）を患者へ移植し、機能させるための課題を次に3つ挙げる。

①腫瘍化（がん化）リスクの排除

iPS細胞には「ほぼ無限に増殖できる」という特性があるが、これは裏を返せば、膵島細胞になりきれなかった「未分化細胞」が混入すると、体内で腫瘍を作るリスクがあることを意味する。これに対し、京都大学iPS細胞研究所（CiRA）等の研究では、細胞表面の特定のタンパク質を目印にして、未分化細胞だけを精密に選別・排除する「ソーティング技術」や、未分化細胞にのみ特異的に反応して死滅させる薬剤の開発が進んでいる。これにより、移植細胞の純度を極限まで高め、安全性を確保することが現在の最優先課題となっている。

②免疫拒絶反応の抑制

他人のiPS細胞から作られた細胞を移植する場合、患者の免疫系がそれを「異物」と認識して攻撃してしまう。これを回避するために、現在は主に2つのアプローチが検討されている。

ア) デバイス（カプセル）封入：栄養やインスリンなどの小さな分子は通すが、免疫細胞のような大きな物質は通さない特殊なフィルター付きのカプセルに細胞を封入して移植する技術。

イ) ゲノム編集（ユニバーサルiPS細胞）：遺伝子操作によって、免疫の攻撃対象となる目印（HLA）を欠損させた細胞を作製し、拒絶反応を根本から起こりにくくする手法。

③長期的な効果持続の担保

移植した細胞シートやカプセルが体内で機能し続けるためには、周囲から速やかに血管が伸びてきて（血管新生）、酸素や栄養が供給されなければならない。血管が構築されないと細胞は壊死してしまうため、血管のもととなる細胞をあらかじめ組み込む研究や、移植部位の選定などが検討されている。

(2) 今後の研究と実用化の見通し

現在、本技術は実際に人間に投与して安全性と有効性を確かめる「臨床試験（治験）」の段階へと移行している。

①現在の進捗状況

国内では、京都大学発のベンチャー企業「おりづるセラピューティクス」などが中心となり、iPS細胞由来の膵島細胞シートを用いた治験が開始されている。これまでの動物実験では、移植によって血糖値が正常化する良好なデータが得られており、現在はヒトでの安全性の確認が慎重に進められている。

②実用化にむけて

一般的に、再生医療製品の治験には数段階のステップが必要であり、順調に進んだ場合でも、病院で一般的に受けられるようになるまでには、今後5年から10年程度の期間を要すると予測される。初期の段階では、特に重症のI型糖尿病患者が対象となる見込みだが、技術が成熟すれば、将来的にはより多くの患者への適応が期待される。

(4) 糖尿病への向き合い方と研究活動の学び

以上のことより、糖尿病対策では、将来の新しい治療法に期待するだけではなく、現在行われている治療や生活習慣の管理を大切にすることが重要である。iPS細胞を用いた治療法は、I型糖尿病の根本的な解決につながる可能性をもつが、実用化には時間がかかる。そのため、現時点では、医師の指示に基づいた治療を継続しながら、今後広がっていく治療の選択肢を正しく理解する必要がある。今回の研究活動を通して、糖尿病には現在の対策と将来の医療の両方を考えながら向き合う姿勢が大切であると学んだ。

今後も、こうした広い視点から糖尿病等病気について考え、発信していきたい。

6. 引用・参考文献

1) 厚生労働省 (2022)

「令和4年国民健康・栄養調査結果の概要」。

<https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/001296359.pdf>

2) 日本財団. 「若年層における糖尿病の認識と社会的課題」.

https://www.nippon-foundation.or.jp/journal/2024/99210/intractable_disease

3) 「Improving the safety of iPS cell-derived pancreatic islets by eliminating unwanted cells.」

<https://www.cira.kyoto-u.ac.jp/e/pressrelease/news/240510-130000.html>

4) 「Identification and removal of unexpected proliferative off-target cell implantation」

<https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2320883121>

5) 「Announcement on the start of Investigator-Initiated Clinical Trial of iPS cell-Delivered Islet Cell Sheet Transplantation」

<https://orizuru-therapeutics.com/en/newsroom/20241002100/>

6) 「ヒトiPS細胞由来の膵島様細胞の移植後に出現する新規増殖性細胞の特定」

<https://www.cira.kyoto-u.ac.jp/j/pressrelease/news/240412-000000.html>

7) 「iPS由来膵島細胞シート移植に関する医師主導治験の開始について」

<https://www.kuhp.kyoto-u.ac.jp/press/20241002.html>

8) 「iPS由来膵島細胞シート移植に関する医師主導治験の開始について」のお知らせ

<https://orizuru-therapeutics.com/newsroom/20241002348/>

9) 「iPS細胞由来膵島細胞シート移植に関する治験 1例目移植実施について」

<https://www.cira.kyoto-u.ac.jp/j/pressrelease/news/250415-090000.html>

10) 「第1/1b相試験：同種iPS細胞由来膵島細胞シートの安全性評価」

<https://irct.mhlw.go.jp/latest-detail/iRCT2053240146>

発見！最強アラーム

一曲調や音の高低に大きな変化を持つ音が最強！？

研究者 2年2組 2番 石橋雪乃
17番 時信ここな
18番 富岡若葉
23番 橋倉歩叶

1. 研究目的

2018年に行われた「新社会人の不安と起床に関する意識調査」というアンケート調査で、「不安なことがある」と回答した新社会人のうち、「毎朝しっかり早く起きられるかどうか」を不安に思っている人の割合が66.5%を占めるという結果が出た。

このアンケートで対象となったのは新社会人だが、高校生である私達にもこのアンケートの結果と似た思いがある。ではどうすれば「起きられる」のだろうか。その方法として、私達は「最強のアラーム」について調べることにした。

2. 先行研究

屋代高校生を対象に、普段どんな音で起きているのか Instagram でのアンケートを実施した。

(1) アンケート内容

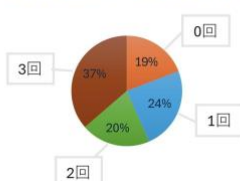
- ① 普段何の音で起きているか。
 - ・スマホ等のデフォルト音
 - ・目覚まし時計の音
 - ・その他(自由回答)
- ② それぞれスヌーズ何回で完全に起きるか。
(0回,1回,2回,3回以上 のどれかから選択)

(2) 結果

回答 121人

- ① 普段何の音で起きているか
 - ・スマホのデフォルト音 55%
 - ・目覚まし時計の音 22%
 - ・その他 23% (「好きな曲」や「声」多数)
- ② それぞれスヌーズ何回で完全に起きるか。

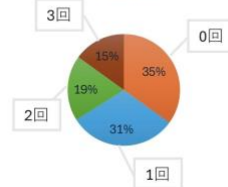
スマホのデフォルト音



目覚まし時計の音



その他



アンケートの結果から、スマホのデフォルト音や普通の目覚まし時計の音よりも、自分の好きな音など別の音を目覚まし音にしている人の方が短い時間で起きられているということがわかった。

3. 実験内容

(1) 実験1

スマホのデフォルト音以外でどんな音が一番起きられるかを調べるために、探究グループの4人で4種類の音を使用し一つの音につき5日間の合計20日間の実験を行った。

■実験方法

- ・使用する音をアラームに設定し朝の目覚ましとして使用する。
- ・スヌーズの回数、どのくらいの時間で完全に目が覚めたか(分単位)、その他感想等をメッセージアプリで共有。
- ・実験はA,B,C,Dの計4名で行う。
- ・使用アプリ Sleep Music Alarm
- ・共通条件 スヌーズは5分おき、停止方法はシンプルに設定。
- ・使用した音
 - ① 一般的なアラーム音(一定のリズムで単調)

- ②自衛隊で使われるラップの音(音の高低があり、音圧が強い)
- ③モスキート音(蚊の羽音が一定時間流れる)
- ④“絶対に起きられる”と称して動画サイトに投稿されている動画の中で再生回数の多いもの(災害アラートのように音に高低があり音圧の強い不協和音)

め、それについて調べる実験をさらに行うことにした。

4. 追加実験内容

(1) 実験 2

“慣れ”の影響で起きやすさに変化があるかを調べるために、探究グループの中で 2 チームに分かれ 5 種類の音を使用し一つの音につき 6 日間の合計 30 日間の実験を行った。

■実験方法

- ・使用アプリ・共通条件 実験 1 と同じ
- ・実験者 A ,B : 1 日ずつ音を変える。
実験者 C ,D : 5 日間連続して同じ音を使用する。
- ・使用した音
 - ①一般的なアラーム音(一定のリズムで単調)
 - ②自衛隊で使われるラップの音(リズムの変化があり、音圧が強い)
 - ③モスキート音(蚊の羽音が一定時間流れる)
 - ④“絶対に起きられる”と称して動画サイトに投稿されている動画の中で再生回数の多いもの(災害アラートのような音圧の強い不協和音)
 - ⑤ロイヤルメルボルン工科大学の研究者、マクファーレン氏によって開発された「目覚めを改善させるメロディ」(音に高低がある木琴や鉄琴の軽快な音)

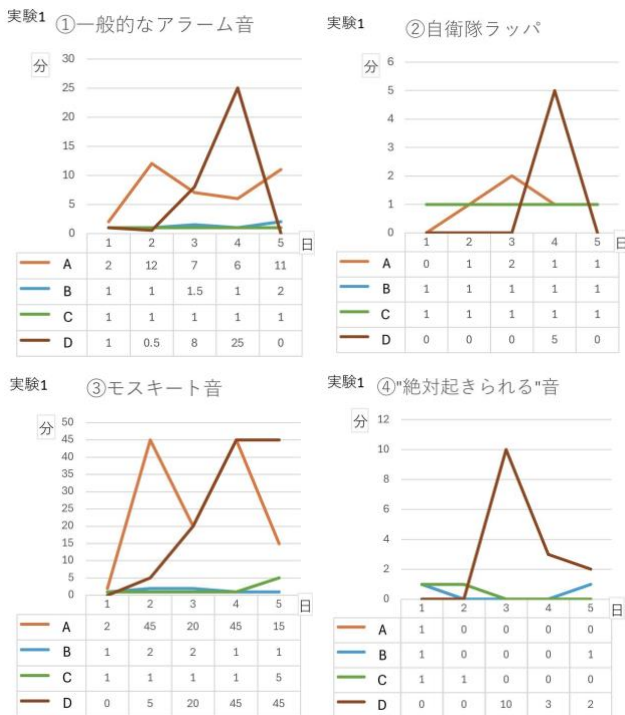
⑤は、再び先行研究を調べたところ発見したもので、「目覚めを改善させる」という点が「起きられる」という点に関するのではないかと考え追加した。

(2) 結果

・実験 1

縦軸:起床までの時間(分)

横軸:日数(日)



※音で起きられなかった場合は、グラフ作成にあたり上限 45 分として記録。また、iPad 版エクセルでは軸の値を指定できなかったため、それぞれのグラフの縦軸の値は異なっている。

実験 1 の集計データから、②の自衛隊ラップ・④の“絶対起きられる音”の起きるまでの時間が全体的に短いので起きやすく、①の一般的なアラーム音・③のモスキート音は他の音に比べ起きにくいことがわかった。

(3) 考察

②の自衛隊ラップや④の“絶対起きられる音”の起きやすさには、音の高さに大きな変化があり、音圧が強いということが理由にあると考えられる。このことから私達は、ある程度音の高さに変化があり、音圧が強い音の方が起きやすいのではないかと考察した。しかし、実験をやっていく途中や中間発表などで、“音への慣れ”は起きやすさに影響するのかという疑問が出た

(2) 結果

縦軸:起床までの時間(分)

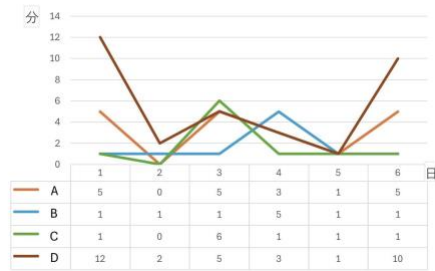
横軸:日数(日)

平均(各グラフ下部)は小数第二位を四捨五入



音を変える(A,B):2.9分 連続する(C,D):6.8分

実験2 ②自衛隊ラップ



音を変える(A,B):2.4分 連続する(C,D):3.6分

実験2 ③モスキート音



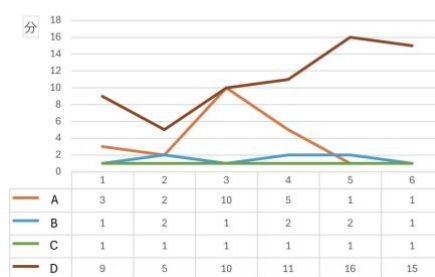
音を変える(A,B):8.1分 連続する(C,D):9.1分

実験2 ④絶対起きられる音



音を変える(A,B):2.3分 連続する(C,D):8.1分

実験2 ⑤マクファーレン:目覚め改善



音を変える(A,B):2.6分 連続する(C,D):6.0分

※音で起きられなかった場合は、グラフ作成にあたり上限45分として記録。また、iPad版エクセルでは軸の値を指定できなかったため、それぞれのグラフの縦軸の値は異なっている。

連続して同じ音を使用する実験者の方が、1日ずつ音を変える実験者よりも起きるまでの平均時間が長いということがわかった。

(3) 考察

平均の値からは音への“慣れ”がみられたが、グラフにおいては音への“慣れ”は実験者Dにのみみられたため、音への“慣れ”は個人差があると考察した。

5. 提案

実験1の結果から、起きやすい音には、その音の周波数や音程に変化があり、音圧が強いという特徴がある事がわかった。

また、実験2より「起きやすさ」と“慣れ”には相互関係があると結論づけた。ただし、“慣れ”には個人差があるということも考えられるので、音を変える余裕があるならば、定期的に音を変えるということが起きやすさの向上につながる可能性がある。

このことから私達は、音の高さに大きな変化を持ち音圧が強い音を「最強のアラーム」と定義し、このような音は、睡眠時間等の個人の生活の違いに関わらず起きやすいと考えた。朝、設定した目覚ましの時間通りに起きられないという人にはこのような音を目覚まし音として設定することを提案する。また、スマホなどに元々あるデフォルト音から起きやすさを求めて自律的に音を変更するという行動も、「しっかり時間通りに起きる」という意識を向上させることができるのではないだろうか。

6. 今後の展望

今回の探究では実験不足や根拠が不十分である、先行研究の内容を十分に使うことができなかったなどの反省点があった。今後はそれを改善し、よりわかりやすく根拠のはっきりとした結果を示すため、実験人数を増やし「音への“慣れ”により起きやすさに影響があるのか」をより詳しく調べたい。

7. 引用・参考文献

新社会人の不安と起床に関する意識調査

<https://news.kddi.com/kddi/corporate/newsrelease/2018/03/01/2981.html>

普通の目覚まし。(①の音)

<https://youtu.be/NBYqEdCYRdc?si=aNzrd20kKfIYzv9N>

自衛隊 起床ラップ (②の音)

<https://youtu.be/rMtGpt2uac4?si=qE5MYN4zLBoVQ8ir>

寝てる人の耳元にモスキート音 (③の音)

<https://youtu.be/rIAGydu6dJA?si=hpzfxonw5KH6FYk0>

絶対に起きられる目覚まし音 (④の音)

https://youtu.be/FMNgeN90c6s?si=5_pNwROm5sLsYl1g

目覚めを改善するメロディ By マクファーレン (⑤の音)

https://.be/PF37zV1BOw0?si=OuSZl1_RLsS4IFFV

姿勢を改善するには

—姿勢改善に効果的な方法とは—

研究者

2年4組9番 久保田沙友葉
2年4組10番 小林さわ
2年4組23番 田中美樹
2年4組32番 平塚百笑

1. 研究目的 (問題意識)

今、スマートフォンやパソコンの長時間の使用によって、姿勢が悪くなってしまうことが問題となっている。私たちも実際に姿勢の悪さを感じている部分があり、このままだと肩こりなどの身体的な不調を引き起こす危険性もある。そこで私たちは、姿勢を改善するための効果的な方法について研究することにした。

2. 研究課題

姿勢を改善するのに最も効果的な方法は、事前の調査で候補に出た「サポートコルセット」、「姿勢改善筋トレ」、「ストレッチ」、「姿勢改善筋トレ&ストレッチ」のうちどれなのか

3. 仮説

よい姿勢が長時間保てるかどうかは、背中や腹の筋力の有無によるところが大きいと予測できるため、その点を改善する「姿勢改善筋トレ」が最も効果的な方法といえるのではないかと。

4. 先行研究～前期の活動～

(1) まず、前期の活動として、一般的に姿勢改善に効果があると思われる方法を20日間続け、記録を取った。前回の研究方法及びその結果は以下のとおりである。

[研究方法]

- ①事前に机に10分間作業しながら座っている動画を撮影し、その中から1分ごとの様子を写真にし、それを元に「実験前」のデータをとる
- ②8月1日から8月20日の間、事前の調査で日々良い姿勢を意識することに加え、姿勢改善の方法として候補が出ていたものを試す
小林:サポートコルセット
(メディエイド 背中ストレッチ)
久保田:姿勢改善筋トレ&ストレッチ
(プランク30秒×3、スーパーマン10回、ストレッチ動画)
- 田中:姿勢改善筋トレ
(プランク30秒×3、スーパーマン10回)
- 平塚:ストレッチ (10分のストレッチ動画)
- ③再び机に10分間作業しながら座っている動画を撮影し、その中から1分ごとの様子を写真にし、それを元に「実験後」のデータをとる

[データの取り方]

対照実験になるよう、データの取り方を以下の方法で統一した。

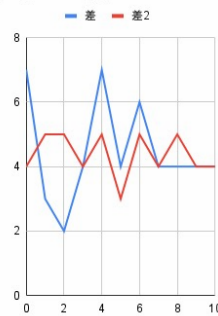
- ①何もせずに良い姿勢を意識して座った状態を基準とし、その状態の座面、腰、首の付け根の位置をとる
- ②1分ごとにとった写真のサイズを基準と合わせ、それぞれの写真の首の付け根の位置をとる
- ③すべての写真の腰と首の付け根を線で結び、基準との角度の差を求め時間ごとの変化、10分間の角度の平均を調べる

[研究結果]

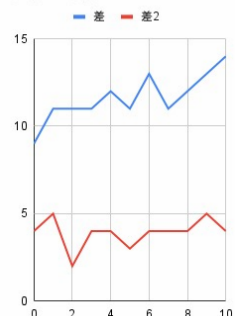
以下のグラフは実験前と実験後のデータを比較したものである。※青:実験前 赤:実験後

① ②

久保田 比較



小林 比較



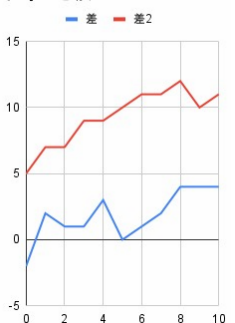
③

田中 比較



④

平塚 比較



軸:分 縦軸:差(度)

- ①4～6分の間、1～2度改善していた
- ②0～10分の間、5～10度改善していた
- ③約4～9分の間、1～3度改善していた
- ④0～10分の間、4～9度悪化していた

[考察]

- ・最も改善した方向に変化が出たのはコルセットだった。
- ・ストレッチは背筋が曲がっており、首が腰のほぼ真上にあつた状態から、背筋が伸びて前に傾くようになったためこのような結果になった。
- ・10分間の平均は四分之三が改善しているため、変化が起きる量は違ったとしても、どれも効果があるといえる。
- ・姿勢の悪さには種類があり、それぞれの問題点は以下のとおりである。

<久保田>
ストレートネック

<小林>
巻き肩

<田中>
顔が机に近づきすぎる

<平塚>
猫背

(2) 先行研究の結果を踏まえて
先述のように、前期の結果は、どの方法もおおむね効果ありだったが、「姿勢の悪さ」に種類があることも発覚した。そこで、今回のデータのとり方について疑問が生まれた。そのため、後期の取り組みとしてそれぞれにあった計測方法での研究が以後の目標である。

5. 研究方法

先行研究の時と同じ方法で調査し、測定方法を個人に合わせて変更する。

[研究方法]

- ①11月1日から11月20日の間、日々良い姿勢を意識することに加え、事前の調査および全校研究の結果より姿勢改善の方法として候補が出ていたものを試す。

久保田:姿勢改善筋トレ&ストレッチ
(プランク30秒×3、スーパーマン10回、ストレッチ動画)

小林 :サポートコルセット
(メディエイド 背中ストレッチ)

田中 :姿勢改善筋トレ
(プランク30秒×3、スーパーマン10回)

平塚 :ストレッチ (10分のストレッチ動画)

②机に5分間作業しながら座っている動画を撮影し、その中から30秒ごとの様子を写真にし、それを元にデータをとる。

③先行研究のデータと比較して、効果があったかを調べる

[データのとり方]

〈久保田〉

腰を通る座面に垂直な直線と、首の付け根と頭頂部を結んだ直線の角度の差。数値が小さいほど姿勢がよいと言える。

〈小林〉

腰を通る座面に垂直な直線と背中、肩をそれぞれ結んだ直線の角度の差。数値が小さいほど姿勢がよいと言える。

〈田中〉

腰を通る座面に垂直な直線と、腰から頭頂部を結んだ直線の角度の差。数値が小さいほど姿勢がよいと言える。

〈平塚〉

腰を通る座面に垂直な直線と背中、首の付け根を結んだ直線の角度の差。数値が小さいほど姿勢がよいと言える。

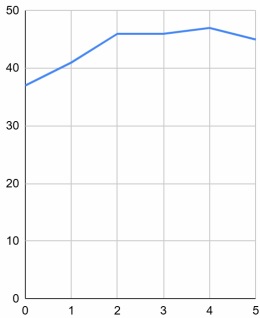
6. 結果・考察

[実験前(2025年7月)]

横軸:分 / 縦軸:差(度)

①

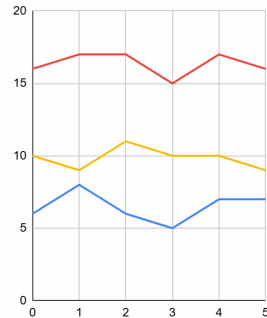
久保田



(首の角度)

②

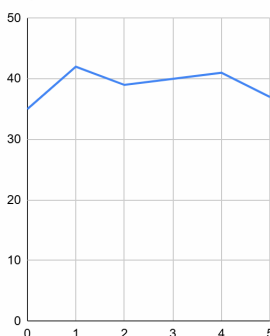
小林



(赤…腰から背中
青…腰から肩
黄…肩-背中)

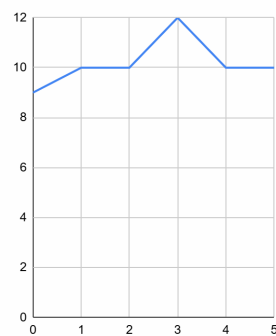
③

田中



④

平塚



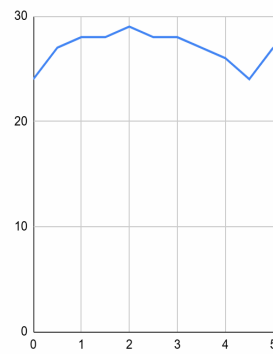
(腰から頭の角度)

(腰から背中と腰から
首までの角度の差)

[実験後(2025年11月)]
横軸:分 / 縦軸:差(度)

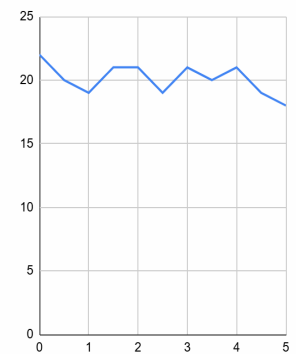
①

久保田



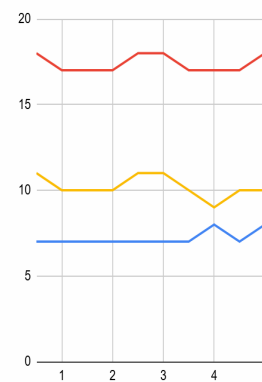
②

田中



③

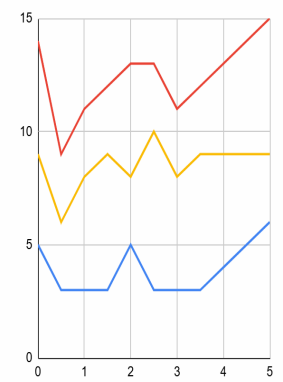
小林なし



(コルセットなし)

④

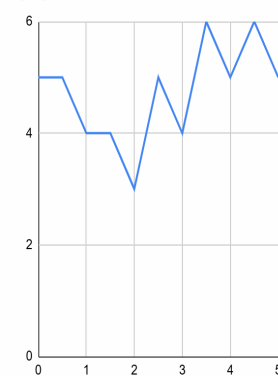
小林あり



(コルセットあり)

⑤

平塚



以上の結果から、次のことがわかる。

〈久保田〉

改善した。実験前では40度を超えていたものが、実験後では一度も30度を超えることがなかった。時間が経過しても角度の差が大きくなっていくことはなく、維持もできていた。

〈小林〉

コルセットをつけた場合のみ改善した。コルセットありでは、計測した全ての角度が数度改善していた。コルセットなしでは、実験前とほとんど変化していなかった。

〈田中〉

改善した。実験前では常に40度くらいだったが、実験後では20度付近の結果になっていた。時間が経過しても近づくことなく維持できていた。

〈平塚〉

改善した。実験前ではほとんど10度以上の差があったが、実験後の差は6度以下になっていた。時間が経過しても猫背になっていくことなく、姿勢を維持できていた。

7. 結論・提案

姿勢改善に効果的な方法として、どのような視点で「効果的」と考えるかに分類して、以下の提案をする。

(1) コルセットを使用

結果が現れる速度が早いほど効果的であると考えられると、先行研究の結果もふまえてコルセットが効果的であるといえる。ただ実験結果からもわかる通り、コルセットを外すと姿勢は良くならない。よって、他の姿勢改善の運動と並行して使用し、良い姿勢が習慣になるまでのサポートとして使うのが最も有効と考えられる。

(2) 姿勢改善の筋トレ

同じ労力の時、より明確に効果が現れるほど効果的であると考えられると、長期に渡って継続した結果、最も効果が明確に現れた筋トレが効果的であるといえる。ただ、すぐには効果が現れないため、序盤はコルセットなどを使ってサポートしつつ、諦めずに継続する必要がある。

よって、仮説は「効果的」を明確に効果が現れるほどそうであるとした場合、正しかったといえる。

8. 反省、今後に向けて

今回の実験では、タブレットを使用している時の姿勢を測定したが、タブレットをどのような角度で見ると姿勢はよくなるのか、タブレットでないもので測定したら結果は変化するのかなどは実験できなかった。また、今回の実験では別々のデータの取り方をしたが、時間があれば各々が同じ筋トレやストレッチなどを行い、より正確なデータの比較が出来たらよかったと思った。

データとして数値を出しにくいという理由から「よい姿勢を意識する」という気持ちの変化は結果や考察、提案からは覗いているが、意識の変化はよい姿勢の維持に大きく関係してくるのではないかと、実験を通して思った。

今後、机に向かう時間は今までよりどんどん長くなると思うが、その時に今回の研究を思い出し、体に負荷がかからないようよい姿勢を保つようにしたい。

9. 引用・参考文献

- 1) 【毎日10分】 姿勢改善ストレッチ 猫背、巻き肩、体のゆがみ、骨盤調整に効果的
https://youtu.be/t_mmDRvWd18?si=zUQ6QExmtkFmdDNT
- 2) ガチガチ背中とがっしり肩幅は肩甲骨が原因だった！簡単なのに一回で姿勢が変わって続けるほど背中が痩せるトレーニング
https://youtu.be/WuMZ3Ejnv88?si=qZUe-S0c1E_xHUys
- 3) uFit media/トレーニング/姿勢をよくする筋トレ8選！姿勢改善トレーニングで正しい姿勢を作ろう
https://ufit.co.jp/blogs/training/stoop?srsltid=AfmB0orcblm0ozXs2knasTC3f118X2uu1ICZhjR_Yr54SiFOYLQIOc7mE
- 4) NAORU(ナオル) 整体院TOPコラム/姿勢改善におすすめの筋トレ5選！姿勢改善のメリットや注意点も紹介
<https://www.naorusalon.com/column/posture-muscle-training/>

界面活性剤濃度と気泡構造体の膜強度

—割れにくいシャボン玉を作るには—

研究者 2年1組 29番 氏名宮原瑞葵
2年1組 3番 氏名井上弥采

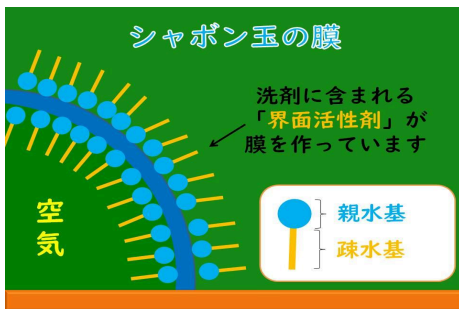
1. 研究目的

シャボン玉は薄い膜でできており、その割れやすさや持続時間は温度や湿度、界面活性剤の濃度といった環境条件に大きく左右されることを知った。私たちはこれら3つの条件を変化させ、シャボン玉の膜強度にどのような影響が現れるか調べることを目的とする。具体的には温度を低温・常温・高温、湿度を乾燥・中間・高湿度、界面活性剤とPVA洗濯糊の比率を3パターンに分けてシャボン液を作成し、膜の安定性を持続時間によって比較、分析する。

2. 先行研究と仮説

(1) 先行研究

シャボン玉は、界面活性剤分子の二重層の間に水が挟まれた液膜でできており、その安定性は膜中の水分がどれだけ長い時間保たれるかに左右される。膜が破れる主な原因は、水分が失われて膜が極端にうすくなることである。水分が失われる原因は主に2つある。1つは空気中への蒸発であり、もう1つは重力や表面張力により膜の下方へ水が流れ落ちる「排液」である。これらが進行することで膜は徐々に薄くなり、破裂に至る。



PVAがシャボン玉を割れにくくする理由は3つ挙げられる。

①膜に高い粘性を与える

PVAの高い粘性が排液を遅らせることができる。

②水分の蒸発を防ぐ

PVAはヒドロキシ基をもち、これが水分子をしっかり捕まえるため水の蒸発を遅らせることができる。

③膜を補強する

PVAの分子が複雑に絡み合うことで膜自体が強靱になる。

(2) 仮説

〈湿度〉

乾燥した環境では蒸発速度が速くなってしまふ。したがって湿度は高い方が長持ちする。

〈温度〉

温度が高いほど水分子の運動が活発になり、蒸発速度が速くなってしまふと考え、割れやすくなると予想できる。したがって温度が低いほど長持ちする。

〈PVAと界面活性剤の割合〉

先行研究からPVAは水の蒸発を遅らせる性質を持ち、膜の粘性を高めることがわかった。したがってPVAの割合が高いほど長持ちする。

と仮説を立てた。

3. 研究方法

○材料

中性洗剤・PVA洗濯糊・ストロー・精製水

○シャボン液の作成方法

精製水、中性洗剤、PVA洗濯糊を計り入れて泡が立たないように混ぜた後、ストローで半径2.5センチのシャボン玉の半球を作る

○研究方法

温度 低温(10℃) 常温(20℃) 高温(30℃)

湿度 低湿度(35%) 中間(55%) 高湿度(75%)

水:PVA:洗剤の比率 A 80:10:10 B 90:5:5

C 70:20:10

の全ての組み合わせ27通りで実験する

障害物に当たって割れることを防ぐために半球の形で行う。

ペトリ皿の下に半径2.5センチの円を書いた紙を置いておく

①ペトリ皿にシャボン液を一滴乗せる

②ストローで息で吹き込んで半径2.5センチの半球を作る

③風によって割ることがないように上から透明の箱を被せる

ドームができた瞬間から計測をスタートし、割れた瞬間に計測を止める。

※温度湿度計を使用し、温度と湿度を条件に合わせる

1つの組み合わせにつき20回ずつ行い、

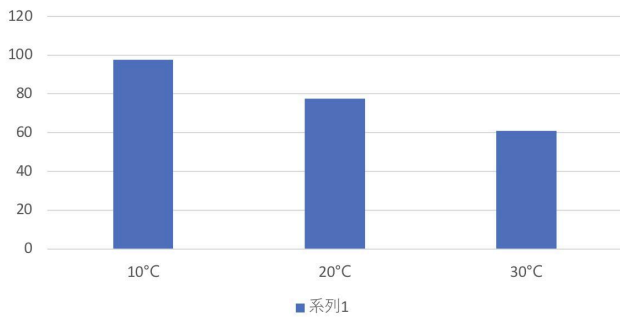
27×20=540のデータを取る

4. 結果・考察

(1) 結果

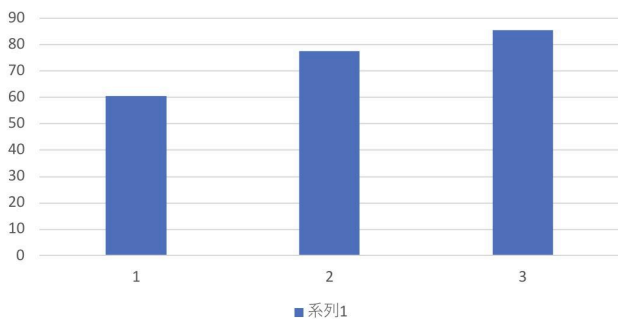
①温度がシャボン玉の寿命に与える影響

湿度を55%、溶液の割合をBに固定し、温度を10度、20度、30度に変化させて測定を行った。



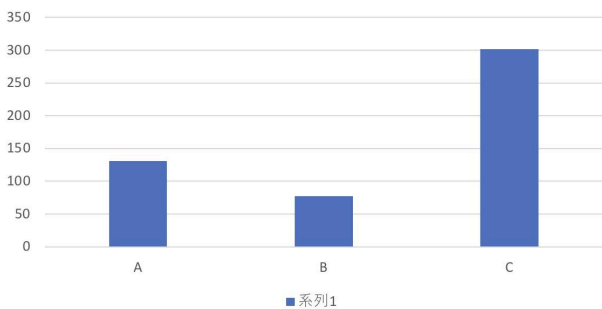
(グラフ1) 温度別 シャボン玉の平均寿命
温度が低いほどシャボン玉の平均寿命は長い傾向にある。

②湿度がシャボン玉の寿命に与える影響
温度を20度、溶液の割合をBに固定し、湿度を35%、55%、75%に変化させて測定を行った。



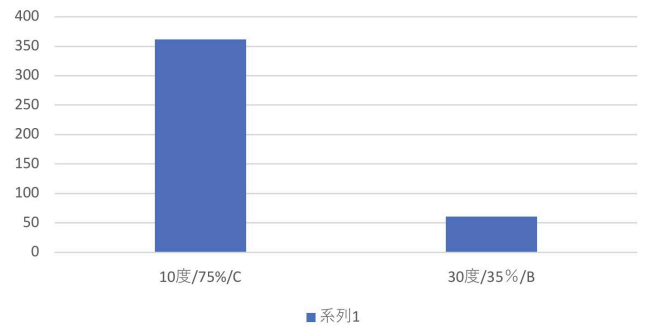
(グラフ2) 湿度別 シャボン玉の平均寿命
湿度が高いほどシャボン玉の平均寿命は長い傾向にある。

③溶液の割合がシャボン玉の平均寿命に与える影響
温度を20度、湿度を55%に固定し、溶液の割合をA, B, Cに変化させて測定を行った。



(グラフ3) 溶液の割合別 シャボン玉の平均寿命
水が少なく、PVA洗濯糊が多い組み合わせのほうがよりシャボン玉の平均寿命が長かった。

④シャボン玉の平均寿命の比較



(グラフ4) 平均寿命が最も長い組み合わせと最も短い組み合わせ

一番平均寿命が長かったのは、温度が10度、湿度が75%、溶液の割合がCの組み合わせだった。一方で、一番平均寿命が短かったのは、温度が30度、湿度が35%、溶液の割合がBの組み合わせであり、最大で300.5秒の差が出たと言える。

また、540回測定したデータの平均時間は約319秒であった。

(2) 考察

実験結果から導かれることとして、今回使用したシャボン液の配合条件では、通常のシャボン玉よりも比較的長時間形状を維持できることが挙げられる。シャボン玉が割れる主な要因として、膜中の水分の蒸発や外部からの刺激がある。PVA洗濯糊や中性洗剤を用いたことで、膜の粘性が高まり、水分の蒸発が抑えられた可能性がある。その結果、シャボン玉の膜が薄くなりやすく、かつ膜内の水が蒸発しにくくなったと考えられる。

予想していたよりも顕著に、組み合わせごとの測定時間が計測できたが、外れ値やばらつきも見られた。これらの要因としては、空気の流れや空気中のごみなどが影響していると考えられる。以上より、シャボン玉の耐久性はシャボン液の配合と周囲の環境によって大きく左右されることが分かった。具体的には、低温、高湿度、PVAの割合が多い組み合わせがシャボン玉を長い時間維持するのに最適だと分かった。よって、仮説は正しかったといえる。また、長野県は特に冷涼な気候で空気も澄んでいるため外でのシャボン玉作成に適していると考えられる。

5. 提案

以上の結果・考察より以下のことを提案する。

長い時間シャボン玉を持続するためには、

- ・外からの刺激が少ない環境
 - ・0度までいかないできるだけ低温の環境
 - ・湿度の高い環境
 - ・シャボン玉の膜内の水分を保持できて粘性の高いシャボン液
- が必要である。

6. 今後の課題

今回の実験では大まかに割れにくいシャボン玉を作成できる組み合わせを探ることができたが、溶液の割合を大きく設定しすぎてしまったため、水とPVA、界面活性剤の具体的な割合まで解明することができなかった。細かいところまで条件を決め、より再現性の高い実験ができれば精度の高い研究が行えると思った。

7. 引用・参考文献

1) 【身近な科学】 お家でも遊べる！割れないシャボン玉の秘密！

https://youtu.be/jhS35iKfM5U?si=hEx_CP5vMNgpZv0I

2) 割れないシャボン玉

<https://youtu.be/jWLMe2TmDyU?si=opeEEbXQ70uMUn3Z>

3) シャボン玉

https://www.tv-osaka.co.jp/qscience/q_science/img/gimon_img/g_q_a/g_butsu_7.html

4) シャボン玉が丸い理由 - 東京大学

<https://event.phys.s.u-tokyo.ac.jp/physlab2022/posts/25/>

5) 細胞包むシャボン玉 - 奈良先端科学技術大学院

http://www.naist.jp/activity/c01_14_11_j.html

6) 水中にシャボン玉？

<https://www.science-kido.com/single-post/soup-buble-in-water/>

修学旅行

—修学旅行で後悔しないために—

研究者	2年	2組	19番	氏名中川廉也
	2年	2組	5番	氏名歌代一輝
	2年	5組	20番	氏名島田啓慎
	2年	6組	31番	氏名丸山祐汰

1. 研究目的

一般の方に人気の観光先と屋代高校生に人気の観光先の方向性に違いはあるのかについての調査や、私たちが実際に行った修学旅行の内容や体験を踏まえ、来年度以降に修学旅行へ行く後輩たちが「行って良かった」とより思える体験をできるよう、役立つ情報を整理、共有することを目的としている。また、学校が実施する、高校生を保護者を対象としたアンケートでは、高校生活最大の行事で大金をかけて行う修学旅行への関心はとても高いことが分かっている。そこで、私たちの研究によって訪問先での学びや楽しさが増すのみでなく、より有意義な時間を過ごすためにその行き先での知っておいた方がよいことや注意点などについてまとめることで、これからの修学旅行をサポートできるものになりたいと考えている。

2. 予備調査及び分析

一般の方に人気の観光先と屋代高校生に人気の観光先の方向性には違いがあり、その違いには学校の教育方針などが関係しているのではないかと考えられる。まず一般の方に人気の観光先を調べてまとめた。

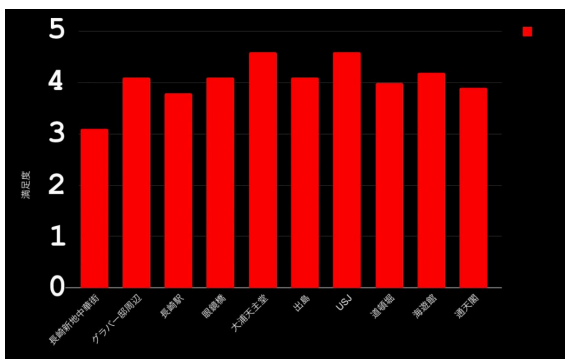


図1 屋代高校生が主に行った行き先の一般の方の満足度

出典: じゃらんnet

*満足度は星評価より引用

じゃらんnetでは、USJや海遊館はどの世代の人でも満足できると評価されている。またじゃらんは世代を絞っていないため、高校生の希望と上の世代の希望にはずれ違いが生じていると考えられる。なお、グラバー園周辺、大浦天主堂の満足度は高いが、上の世代のレビューが他の場所比べて多いため、上記のような世代間の希望のズレが生じていると見受けられる。長崎新地中華街は「思っていたよりも小さかった」という口コミが多く満足度は比較的低くなっている。

このことから、インターネットにある観光スポットサイトの人気ランキングとそれに対する満足度は屋代

高校生のそれらとは違いがあるのではないかと仮説。そして、インターネットのサイトにはなかったその観光地の良かった点や注意点などが屋代高校生から上がるのではないかと予想が生まれた。この仮説、予想からまず一般の方に人気の観光地の感想をまとめた。

長崎新地中華街

期待度: 3.1

感想: 小ささに驚くかも。写真映えする。美味しい。

グラバー園

期待度: 4.1

感想: 見晴らしがいい。当時の衣装を着て楽しめた。

長崎駅周辺

期待度: 3.8

感想: 1日居座れるほど充実。ダイソーやユニクロなどが入っていたりチープな感じ。

眼鏡橋

期待度: 4.1

感想: 写真映えする。懐かしさを感じる。

大浦天主堂

期待度: 4.6

感想: 雰囲気がいい。荘厳でよい。

出島

期待度: 4.1

感想: 建物が復元されていて良い。風情はあまり感じられなかった。

USJ

期待度: 4.6

感想: 作り込みがすごい。混みすぎて待ち時間が長い。スタッフの対応がよい。

道頓堀

期待度: 4.0

感想: 人混みがすごい。散策が楽しい。

海遊館

期待度: 4.2

感想: 迫力がある。人混みがすごい。

通天閣

期待度: 3.9

感想:夜景が綺麗。スカイツリーのような感動はない。スタッフの対応が荒い。

以上の結果となり、ここから金銭面における不満の声がないことや、教養、学習面にフォーカスした声が少ないことが読み取れる。

3. 研究方法

(1) 令和7年度、2年生の修学旅行の行先を共有ドライブから収集して図表としてまとめ、先行研究の情報と照らし合わせる。そして行った後に気づいた良いところや注意点などをまとめ、ネットには出回っていない情報の中から訪問先を選ぶ際に有用なものを高校生目線で収集する。インターネットにある観光スポットサイトの人気ランキングと屋代高校生の実態と比較する。また、各行先のグループから「行く前の期待度」と「行った後の満足度」、実際に行った感想を収集し、各行先の期待度の変動の大きい場所について、その要因を考察する。

4. 結果・考察

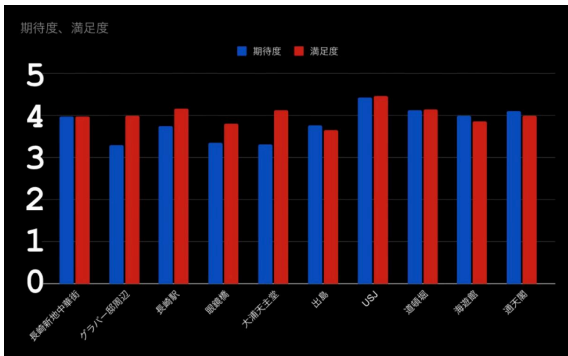


図2 屋代高校が行った自由行動の主な行き先の期待度、満足度

期待度、満足度の平均は全ての行き先で3を超えた。長崎新地中華街や長崎駅周辺、グラバー邸周辺、USJ、道頓堀は行った人が多かった。また、集まった感想には不満を上げているものがなかった。ここで上記で示した有名どころの満足度が高い理由について、以下のように考察する。これは偶然ではなく、これらの観光地が観光客に対して高い満足体験を提供してきたからこそ、評価が蓄積され、結果として「有名な観光地」として社会的に認知されるに至った。有名であることが満足度を生むのではなく、高い満足度を提供し続けてきたことが有名性を形成したからだと考える。

眼鏡橋の評価が高い理由は二つ考えられる。第一に、眼鏡橋は自由行動の開始地点から近く、大勢の人が序盤に観光したと推測できる。この時、時間的、身体的負担が小さいため心理的余裕が生まれ、体験全体に対する評価を高めていると言える。第二に、眼鏡橋は名称、形状、機能が直感的に結びついた構造物である点も注目される。事前の知識が乏しい人々にとっても理解しやすい観光対象であり、短時間でも価値を把握しやすいと考えられる。

大浦天主堂は期待度と満足度の差が最も大きく、多くの人の想定を上回る体験が得られた観光地であっ

た。また、「展示が面白かった」や、「想像してたものより迫力があつた」などの感想が多く見られた。以上から、このような結果となった理由を「大浦天主堂が建物の内部という閉ざされた空間であった」からだと考察する。内部は撮影禁止であることから、ネットからでは内部の容貌が想像できない。故に必然的に期待度は他の観光地よりも低くなり、内部構造や雰囲気との乖離が大きい分、満足度が高くなったと見られる。

出島の評価が相対的に低かった要因として、観光地としての知名度と現地の体験との間に生じた乖離などといった点が見られる。出島は歴史的に著名な地名であり、「海に囲まれた人工島」という明確なイメージが事前に形成されやすい。一方、実際の現地環境では周辺の埋め立てや都市化が進行しており、地理的、空間的に「島」としての独立性を実感しにくい状況にあったと見られる。その結果、出島という名称から想起される歴史的、空間的特異性が現地体験において十分に再現されず、来訪者が「出島である」という感覚を獲得しにくかったことが、満足度の低下につながったと見受けられる。

海遊館、通天閣も満足度が期待度を下回る結果となった。これは、いずれも施設機能や体験内容が明確に規定された観光地であり、行かずとも体験の全体像が把握されやすいという特性に起因すると見受けられる。海遊館は展示動線や鑑賞順序があらかじめ設計されており、来訪者は提示された体験を受動的に追体験する形になりやすい。一方、通天閣は展望という単一の目的に体験が収束する構造を持ち、行動や解釈の余地が限定される。その結果、事前の期待が高水準で形成される一方、現地体験がその枠組みを大きく超えることは少なく、満足度が期待度を下回る傾向になったと見受けられる。

この調査から、レビュー評価が高い観光地であっても、それが高度に設計された体験に基づくものである場合、事前の期待が過度に高まり、実際の体験が想定範囲内に収まる恐れがある。一方、立地条件や行動の自由度、空間の特性によって体験が来訪者自身の行動や解釈に委ねられる観光地では、期待を超える満足が生じやすい傾向がみられた。以上のことから、修学旅行の行き先を選ぶ時は、観光サイトのレビューを単純な満足度や評価点として参照するのではなく、その背景にある「体験構造」を読み取るようにすることが重要であると言えるだろう。

5. 考察に基づく提案

データと自分達の修学旅行をもとに修学旅行のおすすめの行き先を挙げてみた。訪れる機会があれば参考にしてほしい。

長崎→大阪修学旅行案

1日目学年単位学習:飛行機移動、長崎原爆資料館、長崎平和記念公園

長崎原爆資料館では第二次世界大戦の終戦の決め手となった長崎市への原子力爆弾投下の被害や悲惨さに

ついでの写真や資料、爆弾の被害で破損したものなどが展示されており戦争について学ぶことができる。長崎平和記念公園では平和を象徴する平和祈念像は戦争についてなにか感じさせるものがあった。

2日目班別行動:グラバー邸周辺、大浦天主堂、長崎新地中華街、フェリー移動

グラバー邸は明治時代の文明開花を感じさせる建築や展示物を見ることができる。また写真を撮るにはとても良いスポットだ。大浦天主堂ではまるで日本ではないかのような西洋の宗教的建築を見ることができる。お土産屋も充実しているようだ。長崎新中華街では長崎名物であるちゃんぽんや皿うどん、角煮まんなどを堪能することができる。

3日目自由行動:USJ→道頓堀

USJでは絶叫系が苦手でも作り込まれた世界観や雰囲気のにめり込まれて楽しめたという感想も多く、全体的に高評価であった。道頓堀は思ったよりも大きく、お店がたくさんあり食べ物もおいしかったというような感想が多くあり、こちらも全体的に高評価であった。

4日目クラス行動:海遊館(3日目に道頓堀に行かなかった場合はクラス行動で道頓堀に行くプランもあり)、バス移動

海遊館は海の生き物にあまり興味がなくても集中して楽しめる場所だ。また「時間を忘れるくらい楽しめた」という感想もあり高評価であった。天気は左右されないという点も旅行向きである。

広島→関西旅行案

1日目:学年単位学習:飛行機移動、原爆ドーム、広島平和記念資料館

平和のシンボルとしての役割を果たす長崎の原爆ドームでは長崎原爆資料館同様、戦争の悲惨さを感じることができ、負の遺産としての世界遺産を見ることができる。

2日目班別行動:縮景園、厳島神社、ひろしま夢プラザ、フェリー移動

縮景園は、修学旅行の頃には紅葉が見頃となる日本庭園で、落ちついた雰囲気の中で散策を楽しむことができる。

世界遺産である厳島神社には浜から200m沖に鳥居が建てられている。歴史と自然、信仰が融合した幻想的な風景を見ることができる。ショッピングに適している。

3日目自由行動:通天閣周辺、大阪城

通天閣周辺には食べ歩きのできる飲食店や商店街がある。通天閣は「迫力があり感動した」「お土産もたくさん売っていてよかった」「夜景が綺麗だった」という感想があった。夜に行くのがおすすめだ。

大阪城は天守閣内部にある歴史博物館で豊臣秀吉の生涯を知ることができ、日本一の高さを誇る石垣が見ど

ころである。城門近くにある36畳分もある大きな石も見どころのひとつである。

4日目クラス行動:南京町、バス移動

南京町は横浜、長崎と並ぶ日本三大中華街のひとつ。横浜や長崎とは異なり、こじんまりとしたエリアに多くの異国文化を感じられる施設が集まっている。

6. 今後の課題

データをもとに具体的にどんなことに気をつければ修学旅行を充実したものにすることができるのか、来年からは行き先が変わることがあるかもしれないので具体的な例から一般化させて、「どのような場所がいい」「どのような選び方がいい」という事を述べられると良いと思った。

また3月の発表ではまだ修学旅行に行っていない下級生も見に来てくれる可能性があるのも、わかりやすくデータをまとめ、説明を推敲していくことも必要だと言っている。

7. 引用・参考文献

1)じゃらんnet

<https://www.jalan.net/kankou/>

2)Rakuten toravel

<https://travel.rakuten.co.jp/mytrip/ranking/spot-hiroshima>

バスケのシュート率を上げるには

—正しいフォームの方が入りやすくなる—

研究者 2年 3組 38番 森 快翔
 2年 3組 40番 依田 和真
 2年 5組 19番 重野 秀
 2年 5組 36番 山岸 翔

1. 研究目的

私たちはバスケ部に所属していてシュート率の大切さを日々感じており、よりシュート率を上げるためには現在のシュートフォームから何を改善する必要があるのか調べて夏の総体でよりシュートを決められるようにしたいと考え研究しようと思った。

2. 研究方法

ここからは正しいシュートフォームの方が入るといふ仮説をもとに研究する。

(1) まず現時点でのシュートの率及びシュートフォームの記録を行う

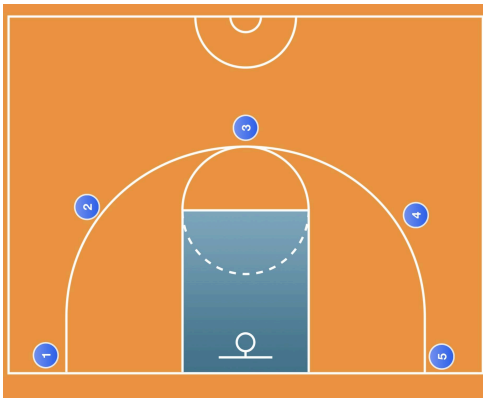


図1 シュートを打つ位置

(1) この図の1~5までのそれぞれの場所から3人(A, B, C)がシュートをそれぞれ200本ずつ打ち合計1000本打って確率を求める

(2) 正しいシュートフォームを教えてもらいそのフォームで(1)と同じ実験を行い比較する

3. 結果

(1)

表1 普段のシュートフォームで打った結果

	A	B	C
1	62	86	83
2	48	73	71
3	72	67	72

4	57	73	76
5	59	52	80
確率	29.3%	35.1%	38.2%

表1から確率は29.3%~38.2%ということがわかった

(2) 担当の先生に協力していただきそれぞれシュートフォームの改善点を教えてもらった。その結果全員に共通していた改善点は、上に跳べておらず前にジャンプしていることやボールに真っ直ぐ回転がかかっていないことであった。また他にもそれぞれの改善すべき点が多く見つかった。Aは、シュートの肘を開いてしまう癖とシュートの軌道をあげすぎてしまう事を無くすことができた。要改善点としてまだ斜めの回転になっていることが挙げられる。Bは、上に飛ぶ意識がついたこととボールの回転数を増やすことができた。要改善点として手首のスナップが甘く回転が弱いことがあることと、支えている左手が開くことがあるということが挙げられる。Cは、ジャンプの時に膝が内側に入ってしまうこととシュートのリリース位置の改善ができた。これらの改善点を踏まえ再度シュートを行いその結果をまとめたのが<表2>である。しかし要改善点と書かれているところは表2のデータを取るときまでに改善できなかった点である。

<表2>

改善したシュートフォームで打った結果

	A	B	C
1	71	80	76
2	60	81	92
3	70	76	80
4	69	78	80
5	63	72	89
確率	31.6%	38.7%	41.7%

結果

表1、表2の結果から今までのシュートフォームよりも正しいシュートフォームの方が僅かに入りやすいことがわかった。

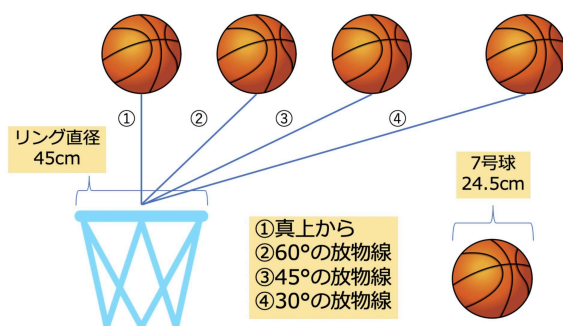
4. 考察

本研究では、正しいシュートフォームを身につけることでシュート確率が向上すると仮定し実験を行った。しかし、結果(2)にあるように、a, b, cともに一部フォームの改善ができていないところがあった。また練習期間に打った約6000本のシュート量では十分ではなかったと考えられる。そのため今後仮説を成り立たせるために行うことを提示する。

<図2>

シュートのずれの許容範囲

シュートの角度による許容範囲の変化



一つ目はシュートの打つ位置(リリースポイント)を高くすることである。図2は、ボールがリングに入る時の角度を表したものだ。図2より、ボールのリングに対する入射角が大きいほどボールはリングに当たりにくくなるためより入りやすくなる。今までのシュートは④のように水平に近いような軌道をしてきたため、リングに当たり、弾かれやすかった。だが、シュートの打つ位置が上がることで入射角が大きくなり図のようにより入りやすくなると考えられる。しかし①は実現することが難しい。また、②に関しては、高い軌道になるため、ボールの落下速度が大きくなったり、シュートを打つ際により多くの力が必要になるため、距離のコントロールや再現性が下がる恐れがあるので適さない。そのため③のような軌道(45度)になるようにしていきたい。

2つ目はシュートを打つ時にボールにまっすぐきれいな回転をかけることを意識して打つようにすることである。今までのシュートは回転はかかっていたが、回転が斜めだったり、回転が弱かったりした。そこを改善しまっすぐしっかりと回転をかけるようにシュートを打つようにすることでより安定した軌道でゴールへ飛ぶようになりリングに当たったとしても回転によって入る確率が上がると考えられる。

5. 今後の課題

今回の探求では、データの量の少なさ、確率の上がり幅の小ささなどといった要因から仮説が成り立つと言えなかったため、これからは対象とする人数を増やしたり、データを取る期間を伸ばすなどしてたくさんのデータを入手して仮説を成り立たせたい。また、今回はスリーポイントのみでの実験だったがフリースローやツーポイントシュートなどの他の場所でも実験してみたいと考えた。

7. 引用・参考文献

1) バスケットのシュート成功率が高まる方法を解説

<https://nakosukeblog.com/basketball-shoot-knack/>

2) GRIT Basketball shooting academy

シュートのズレの許容範囲

<http://grit-bb-academy.com/shotgap/>

3) blog.drdishbasketball.com/science-of-shooting?utm_source=chatgpt.com

<https://info.drdishbasketball.com/shooters-wanted/guide>

体重と筋肉量の関係

— 効率よく筋肉をつける —

研究者 2年4組6番掛川晴誠 2年4組25番土屋允人

2年4組33番古田慧一朗 2年1組33番山口俊

1. 研究目的(問題意識)

①理解

体重と筋肉量の関係を考え、増量や減量が筋肉の発達にどのような影響を与えるのかを理解する。

②効率的なトレーニング方法の追求

ただ体重を増やす/減らすのではなく、筋肉を効果的につけるために適切な栄養摂取や運動方法を検討する。

③健康面

無理のない方法で筋肉を増やし、基礎代謝や体力の向上を目的とする。

④個人差への対応

目標に合わせた「効率的な筋肉のつけ方」を考えることで、一人ひとりに合うような実践的な方法を見出す。

2. 現状(先行研究の分析)

(1)

この研究では、生体電気インピーダンス法(BIA法)を用いて筋肉量および脂肪量を測定し、年代別・性別・部位別の特徴を検討した。その結果、筋肉量はすべての年代で男性が女性より多く、加齢に伴う筋肉量の減少は男女ともに中年期以降に顕著となり、特に下肢筋肉量の低下が明らかとなった。この結果は、日本人を対象とした先行研究(4,5)と概ね一致しており、加齢に伴う骨格筋量減少が主に下肢で生じることを再確認する結果であった。

脂肪量については、男性では青年期から壮年期にかけて有意な増加が認められたのに対し、中年期以降では大きな変化はみられなかった。一方、女性では年代間で著明な変化はみられなかったものの、中年期において男性より脂肪量が有意に多い結果となった。これらの結果から、脂肪量増加に対する予防の重点時期は性別によって異なり、男性では若年期からの生活習慣改善が重要であるのに対し、女性では中年期における過剰な脂肪蓄積を防ぐ取り組みが重要であると考えられる。女性における中年期の脂肪量増加には、ホルモンバランスの変化が影響している可能性も考えられる。

高校生は第二次性徴の進行に伴い、男女ともに体重が増加しやすい時期であるが、本研究で示されたように、成人期においても体重増加の背景には筋肉量増加と脂肪量増加の両方が存在する。したがって、高校生期の体重増加も、単なる成長として捉えるのではなく、その内訳が筋肉量の増加によるものか、脂肪量の増加によるものかを考慮する必要がある。

(2)

先ほどの先行研究からわかること

先行研究では、筋力量や体重の変化に対して、運動内容や食事条件がどう影響するかが調べられている。研究によって、トレーニング方法(全身運動 vs 部位別運動)や栄養条件(通常食 vs 高タンパク食など)が異なる。

運動の影響

全身運動は、広い範囲の筋肉をまんべんなく鍛えられるが、特定の筋肉の増加は限定的。部位別運動は、特定の筋肉の筋力量増加に効果的であることが示されている。研究結果から、運動の内容や強度によって筋肉の増え方が異なることがわかる。

栄養・食事の影響

筋力量の増加や体重変化は、運動だけでなく栄養状態にも左右される。タンパク質やカロリーを十分に摂ることで、同じ運動でも筋肉の増加量が大きくなることが報告されている。栄養の条件は運動効果を最大化する上で重要であることがわかる。

運動と栄養の組み合わせの傾向

部位別トレーニング+高タンパク食の組み合わせが、筋力量増加に最も効果的とされる研究が多い。逆に、食事が少ない状態では、運動をしても筋力量の増加が限定的になる傾向がある。

総合的な傾向の分析

運動の種類、強度、頻度と栄養条件が組み合わさることで、筋肉の増加や体重変化のパターンが異なる。先行研究を比較すると、特定の条件を組み合わせると効果が大きいことがわかる。

3. 研究方法(研究手法)

実験の流れ

筋トレを行いその結果を以下の観点から測定する

- ・体重
- ・筋肉量

また、トレーニングの方法等を2ヶ月(8週間)ごとに計4回ほど条件を変化させ、各月の初めに計測する。そして食事に関しては、1日の活動代謝量(TDEE)と同程度になるよう意識した。筋肉量の測定にはフィットネスジムにある体組成計を利用する。体組成計では各部位の筋肉量を測定できるため、その合計を記録する。

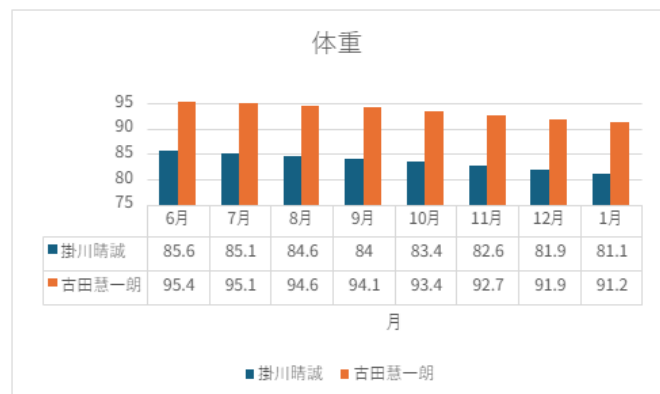
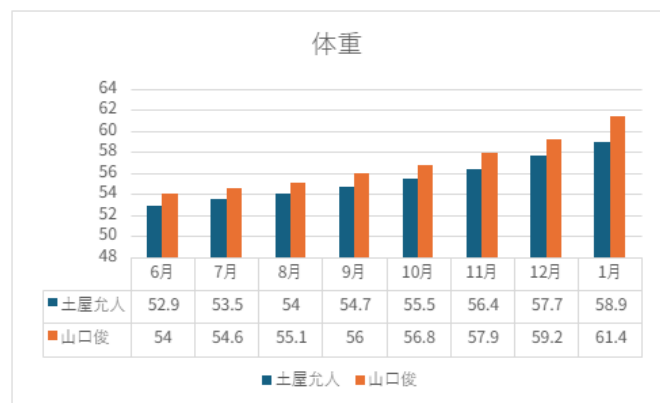
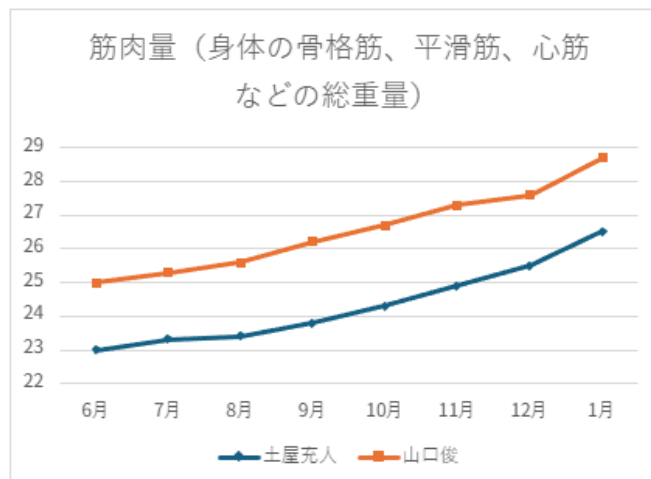
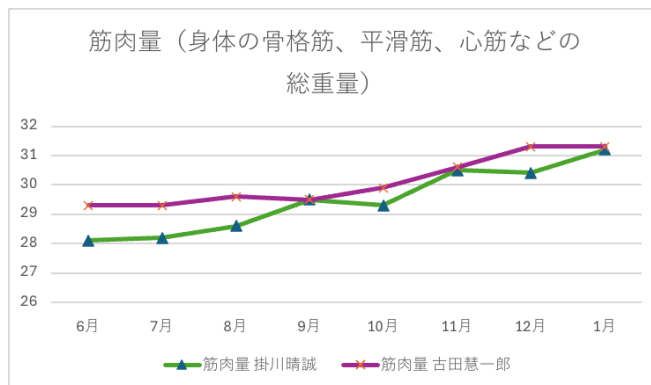
変えた条件

- ①週七回低強度のトレーニング(6・7月)
 - ②週三回高強度のトレーニング(8・9月)
 - ③部位別トレーニング(10・11月)
 - ④メンテナンスカロリー±100キロカロリーを意識した食事(12・1月)
- ※④は日立健康管理センターの100Kcalカードを参考にして食事を減らす

4. 結果・考察

体重					
月		土屋允人	山口俊	掛川晴誠	古田慧一郎
6月		52.9	54	85.6	95.4
7月	週7回低強度	53.5	54.6	85.1	95.1
8月		54	55.1	84.6	94.6
9月	週3回高強度	54.7	56	84	94.1
10月		55.5	56.8	83.4	93.4
11月	部位別	56.4	57.9	82.6	92.7
12月		57.7	59.2	81.9	91.9
1月	食事変化	58.9	61.4	81.1	91.2

筋肉量					
月		土屋允人	山口俊	掛川晴誠	古田慧一郎
6月		28.1	29.3	23	25
7月	週7回低強度	28.2	29.3	23.3	25.3
8月		28.6	29.6	23.4	25.6
9月	週3回高強度	29.5	29.5	23.8	26.2
10月		29.3	29.9	24.3	26.7
11月	部位別	30.5	30.6	24.9	27.3
12月		30.4	31.3	25.5	27.6
1月	食事変化	31.2	31.3	26.5	28.7



今回の研究では、体重および筋力量の増加を目的としたグループと、筋力量の増加と体重の減少を目的としたグループの両グループに共通して、①の週7回・低強度トレーニングでは体重の変化が最も小さかった。それは、運動頻度は高かったものの、負荷が低いため筋肉への刺激が弱く、筋肉量の増加や代謝の大きな変化につながりにくかったからだと考えられる。また、毎日運動を行うことで疲労がたまり、十分な回復ができなかった可能性もあり、結果として体重の変化が小さくなったとも考えられる。

次に、②の週3回・高強度トレーニングでは、①よりも体重の変化量が大きくなった。これは、運動の回数は減ったものの、1回あたりの運動強度が高くなったことで、筋肉に強い刺激が与えられたためだと考えられる。また、運動後の回復時間が確保されたことで、筋肉が成長しやすい状態になったことも影響していると考えられる。

③の部位別トレーニングでは、鍛える部位を分けることで、各筋肉をしっかり休ませながらトレーニングを行うことができた。その結果、筋肉への刺激と回復のバランスが良くなり、両グループともに②よりも体重の変化量が大きくなったと考えられる。

そして④の食事管理を行った条件では、2つのグループでそれぞれ体重の増加量、減少量が特になくなった。それぞれの理由として、体重・筋力量の増加を目的としたグループでは、摂取カロリーを増やしたことで、筋肉をつくるためのエネルギーが十分に確保され、体重が大きく増加したと考えられる。一方、体重減少を目的としたグループでは、摂取カロリーを減らしたことで、トレーニングによる消費エネルギーとの差が生まれ、体重を最も減少

させることができたと考えられる。

また、体重減少を目的としたグループでは、全体を通して体重の増加を目的とした二人に比べ体重の減少が穏やかであった。これは、減量を目的としていても筋力量の増加を同時に目指していたため、脂肪が減少しても筋肉量が増え、その分体重の変化が小さくなったためだと考えられる。

5. 結論

今回の研究から、体重の増量・減量、筋肉量の増加を目的とした場合、低強度で回数の多いトレーニングよりも、高強度や部位別トレーニングの方が効果的であることが分かった。特に、部位別トレーニングは筋肉への刺激と回復のバランスが良く、筋力量の増加につながりやすい条件であると考えられる。さらに、トレーニングに加えて食事でのカロリーの摂取量を意識することで体重の増減に非常に効果的であるとわかった。このことから、増量・減量と筋肉量の増加を目的とする場合は、高強度または部位別トレーニングと、適切なカロリー摂取を組み合わせることが重要であると考えられる。

6. 今後の課題

今回の実験では、体重や筋力量の変化に対して最も影響が大きかったのは食事の管理であり、次いで部位別トレーニングが効果的であることがわかった。具体的には、摂取カロリーやタンパク質量を調整することで、筋肉量の増加や体重の増減がより明確に現れ、部位別トレーニングを行うことで、特定の筋肉を効率よく成長させることができた。一方、週7回の低強度トレーニングや週3回の高強度全身トレーニングは、単独では効果が限定的であり、運動回数や強度だけでは十分な変化を得られなかった。

しかし今回の実験では、実行できる条件や回数に制限があったため、4つの条件(週7回低強度、週3回高強度、部位別トレーニング、食事管理)の効果しか検証できなかった。そのため、今後の展望としては食事管理と部位別トレーニング、あるいは運動強度や頻度との組み合わせによる効果を検証する実験を行うことが重要である。特に、食事管理と部位別トレーニングを同時に行う必要があると考えた。

さらに長期的に実施することで、成長期の高校生における体重・筋肉量の変化パターンや個人差についても明らかにすることができる。

7. 引用・参考文献

<https://keisan.casio.jp/exec/system/1161228736>

<https://youtu.be/No9m0A2tzLw?si=vk25EdLkEw-1Yhg3>

<https://youtu.be/yfF-Q2NhVnE?si=GVYYgls15ShGAuTQ>

<https://youtu.be/LdpVTj1t9M0?si=zUcekIyB2u2KDhJs>

https://youtu.be/g46tZN9J_2k?si=yUIFilvvQPqZtD6E

<https://youtu.be/7E-JAyzbj7o?si=l6V10eejqRaaiZ1O>

<https://youtu.be/2mewWSMstUI?si=8BfcqoZZSiaGghS1>

<https://youtu.be/kYv-8lVeRlc?si=008InhSU1rosbAkV>

<https://youtu.be/gnEGF5Qr7Xg?si=BIpOq6liivEq0iO1>

https://youtu.be/y_fJvagpvk0?si=6ixLYVYewROft9iA

<https://youtu.be/mfw8Q117YQo?si=IDfFYa2WtJqm-LN6>

https://www.jstage.jst.go.jp/article/ptcse/25/1/25_98/_pdf/-char/ja

<https://www.hitachi.co.jp/hospital/nikkense/guidance/100kcard/index.html>

“自分ってダメかも…”から抜け出せない 高校生たちの自己肯定感事情

—自己肯定感を上げるためには—

研究者 2年 2組 13番 氏名 竜野ことみ
2年 2組 35番 氏名 湯井帆乃花
2年 2組 37番 氏名 吉池美空

1. 研究目的（問題意識）

ネットの記事で、日本人は諸外国の人々と比較したとき、「自己肯定感」が低い傾向にあり、その中でも特に若い世代で自己肯定感の低さを示した数値が落ち込んでいるということを知った。そこで日本人の中でも特に私たち「高校生」の自己肯定感の低さの原因は何にあり、それぞれ自己肯定感をどうやってあげているのかを調べたいと、少しでも自己肯定感を上げるための策を見つけたいと思った。

2. 現状（先行研究の分析）

(1) 先行研究①

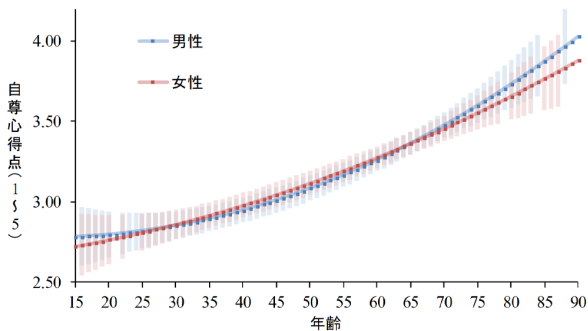
【欧米諸国と比較した日本の自己肯定感】

平成30年度版の内閣府調査では、「自分に満足」という人の比率は、欧米諸国で80%台なのに対して日本では40%台となっていた。自己肯定感の国際比較をすれば、欧米人は非常に高く、日本人はそれに比べて極めて低くなっていることがわかる。

(2) 先行研究②

【年齢で比較したときの自己肯定感】

先行研究では自己好意が小学生で高く、中学生・高校生で低く、その後60代まで年齢が高いほど自己好意が高いことが示されている。



3. 仮説・研究方法

1. 自己肯定感の高い・低いはその人の性格や癖が関係しているのではないか？

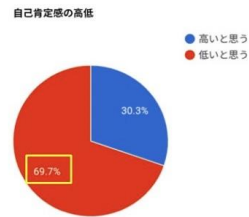
→屋代高校やその他周辺の高校を対象に、自己に関するアンケートを実施する。

2. タイプ別に見た自己肯定感の上げかた

→屋代高校やその他周辺の高校を対象に、班活動や自身の性格、各々の自己肯定感の上げ方を問うアンケートを実施し、その関係性を調査する。

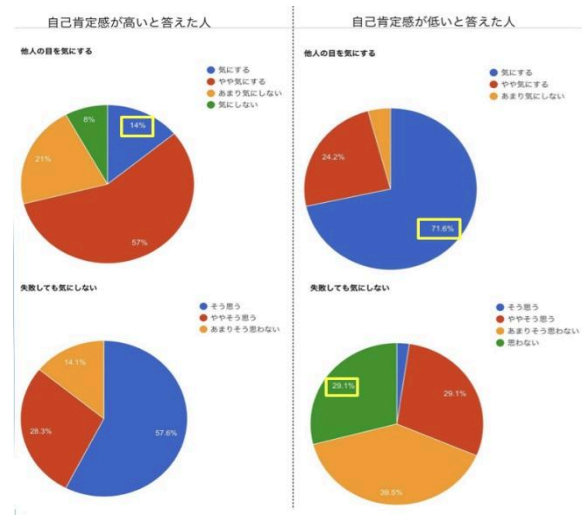
4. 結果・考察

〈仮説1〉



左の図はGoogleフォームを通して、学生に答えてもらったアンケート結果をグラフにしたものだ。「自己肯定感が高いと思いますか、低いと思いますか？」という質問に対して、「低いと思う」と回答した割合

が全体の約7割を占めており、やはり学生の自己肯定感は低い傾向にあるということがわかる。

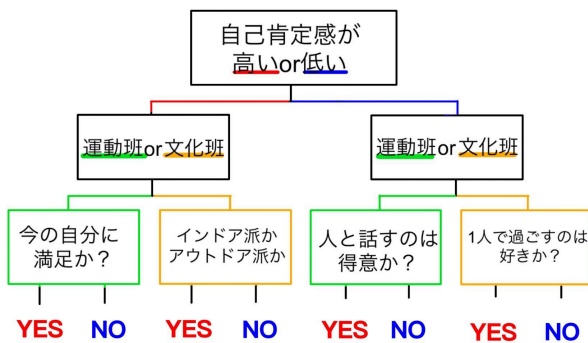


2つの質問（「他人の目を気にするか」②「失敗しても気にしないか」）を自己肯定感の高さのアンケート結果をもとに「自己肯定感が高いと答えた人」（左）「自己肯定感が低いと答えた人」（右）で分類し、グラフ化すると上のようになった。

①では「気にする」という回答で比較すると自己肯定感が高い人は14%なのに対し低い人は71%と、低い人は圧倒的に他人の目を気にする割合が高いことが分かる。また、②では自己肯定感が高い人は気にする人が0%なのに対して、低い人は約30%も気にする人がいることが分かる。以上から仮説1、自己肯定感の高い・低いはその人の性格や癖が関係しているのではないか？については、自己肯定感が高い人はあまり他人の目を気にせず切り替えも早いですが低い人は周りの目を気にし、失敗も引きずる傾向があることから正しかったのではないかと考えた。

〈仮説2〉

仮説1の結果・考察から、顧問の先生と相談して新たにアンケートを作成した。仮説1と同様に、Googleフォームを通して下の図のようなシステムで、屋高生と周辺の高校生を対象に回答してもらった。具体的な内容としてまず初めに「自己肯定感が高いか、低い」次に「運動班か、文化班か」さらに分岐させ、最終的に結果を8パターンにし、アンケートの最後には全ての人に対して「どのように自己肯定感を上げているか」について記述式で回答してもらった。



結果、上記のようないくつかの質問を踏まえても、班活動や個人の性格と自己肯定感の上げ方との関係性は見られなかった。また自己肯定感の上げ方には、「寝る」「音楽を聴く」「好きなことをする」など、ストレス発散法に共通するものが多く見られた。そこで、記述式で回答してもらった自己肯定感の上げ方にのみ焦点を置き分析すると、6つのタイプに分類することができた。以下の通りである。

- ① 成功体験が自己肯定感に直結するタイプ
→「出来た」「成長している」という実感が自信に直結する
- ② 褒められて伸びるタイプ (他者からの承認)
→「誰かが認めてくれた」がエネルギーになる
- ③ 好きなことや趣味であげるタイプ
→好きに触れることで気分が回復する
- ④ 外見を整えることでメンタルあげるタイプ
→「装い=自己表現の一部」
- ⑤ 人との繋がりによって自己肯定感が上がるタイプ
→友達と励まし合ったりすることで元気を得る
- ⑥ ポジティブであろうとする意識が強いタイプ
→自分を自分でコントロールしようとする力が強い

5. 自分の提案

仮説2の結果・考察を踏まえて、タイプ別に以下の具体的な提案をする。

- ①自分の成功体験を思い出す、過去の良かった模試の結果を見る、できることを増やす、など
- ②友だちや家族、恋人に褒めてもらう、自分を褒める、など
- ③好きな音楽を聴く、好きなものを食べる、推し活をする、妄想をして楽しむ、など
- ④お気に入りの服を着る、メイクをして外見を整える、など
- ⑤人と話す、人の役に立つことをする、誰かと一緒に勉強する、など
→ただし「人と話すのが得意でない」という回答もあり、状況によってばらつきがみられる
- ⑥ポジティブな言葉を言い聞かせる、名言を聞く、「自分はできる」と信じる、気にしすぎないようにする、あるがままを受け入れる、など

いずれの提案も、人によって多くの違いがみられたため、一概におすすりできるような自己肯定感の上げ方は示せなかった。しかし、上記のタイプ別の自己肯定感の上げ方を試してみて、自分に合うものを見つけてみて欲しいと考える。

6. まとめ

仮定1.2を通して、自己肯定感の高低には個人の性格や癖が関係しているが、自己肯定感の上げ方に関しては、班活動や個人の性格との関係は見られなかった。また、自己肯定感の上げ方は、ストレス解消に類似しているものが多かったため、ストレスを発散することと自己肯定感を上げることは、互いに強く影響し合うということがわかった。よって、自分に合った様々な方法で、ストレスをうまく減らすことが、自己肯定感を安定することにつながると考えられる。

7. 今後の展望

現代の高校生の自己肯定感の高低だけでなく性格、癖、上げ方についてのアンケートの結果を踏まえてそこにはどのような傾向があるのか調べることができた。しかし、自己肯定感を上げるための方法の提示のみで、実際に上がるかどうかは実験として確かめられなかったため、自分たちが積極的に日常に取り入れて活用していきたい。

8. 引用・参考文献

- 「欧米諸国と比較した日本の自己肯定感」
<https://diamond.jp/articles/-/296174>
 「年齢で比較したときの自己肯定感」
https://www.tus.ac.jp/today/archive/20200806_0103.html

野草茶の魅力とは

- 効能や種類の豊富さでそれぞれに合う野草茶を -

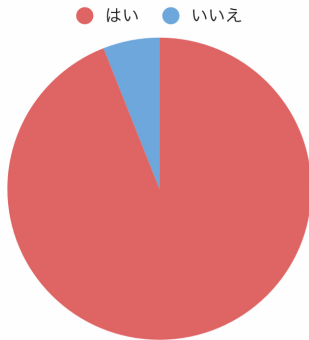
研究者 2年5組15番 氏名 越山萌
 2年5組24番 氏名 徳竹希美
 2年5組38番 氏名 吉澤愛梨

1. 研究目的 (問題意識)

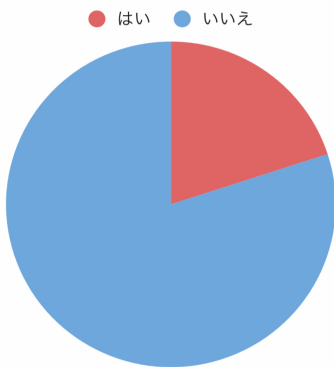
身近な自然資源である野草を活用する意義について考察し、環境にやさしい選択肢の一つとしての野草茶の価値を伝えることを目的とする。さらに、私たちの身近に存在する野草の価値を再認識し、野草茶が日常生活にどのような良い影響を与えるのかを明らかにする。これらを通して野草茶がもつ魅力や将来的な可能性を多くの人に伝えていく。

2. 現状 (先行研究の分析)

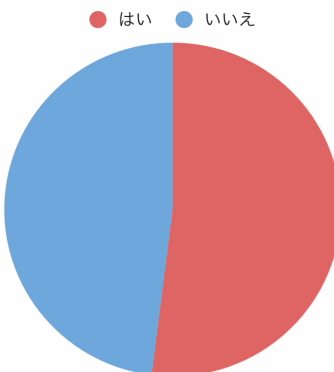
お茶は好きですか? (94% 6%)



野草茶について知っていますか? (20% 80%)



野草茶を飲みたいと思いますか? (52% 48%)



野草茶についての認知度を調べるためにInstagramで約100人にアンケートをとった。

左のグラフから分かるように、お茶が好きな人は多いが、野草茶について知っている人は少ないと分かる。また、野草茶を飲みたいと答えた人の割合はおよそ5割止まりだった。その理由として「雑草っぽい味がしそうだから。」「苦そうだから。」などがあり、野草茶に対して抵抗がある人が多いのではないかと考えた。

以上のことから、野草茶の認知度は低く、野草茶という名前で味に不信感を抱いてしまう場合が多いのだと分かった。よって、実際に野草茶を飲んでもらい、野草茶について知ってもらおうと考えた。

3. 研究方法 (研究手法)

①お茶の袋に記載されている量でお茶を作る。今回はそば茶、ごぼう茶、ヨモギ茶、りんごの葉でお茶を作った。(自分たちで葉を採取したりーから作ったのはりんごの葉のみ)

②生徒や先生計23人に4つのお茶を試飲してもらい、◎○△の3段階でそれぞれ「おいしさ」「苦さ」「におい」「見た目」の4つの観点から評価してもらった。なお、「苦さ」に関しては、甘ければ△をつけてもらっている。

③評価してもらったものをグラフ化する。



4. 野草茶とその効能・歴史

ここでは、今回研究で使用した野草茶それぞれの効能と歴史についてである。

①りんごの葉茶

・ 血糖値の上昇を抑える効果や老化防止、血流改善、免疫力向上、リラックス効果が期待されている。りんごの果実だけでなく、葉にも健康に有用な成分が含まれている。

・ 歴史は比較的新しく、主に青森県の「医果同源りんご機能研究所」が、中国由来の絶滅種「湖北海棠」の葉に着目し、約2,000年代に商品開発を行ったことが始まりとされている。

②ヨモギ茶

・ 抗炎症、デトックス、抗酸化作用、血行促進、冷え性改善、美肌効果など、様々な健康効果が期待されている。

・ 平安時代の書記には、薬草として利用されていたということが記されており、茶として飲む以外にも食用や薬用など多様な方法で活用されてきた歴史がある。

③そば茶

・ リラックス効果、美肌効果、生活習慣病予防効果があるとされている。

・ 江戸時代にはそば茶屋が登場し、庶民の飲み物として広まった。現在でも、信州や北海道の地域などのそばの産地を中心に、地域に根付いた飲み物として親しまれている。

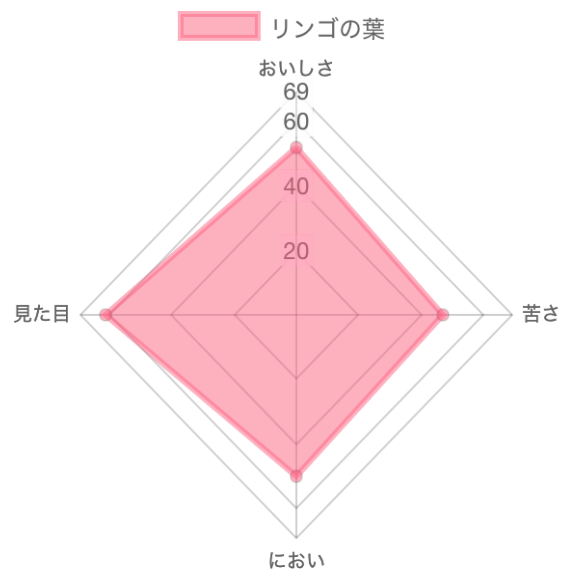
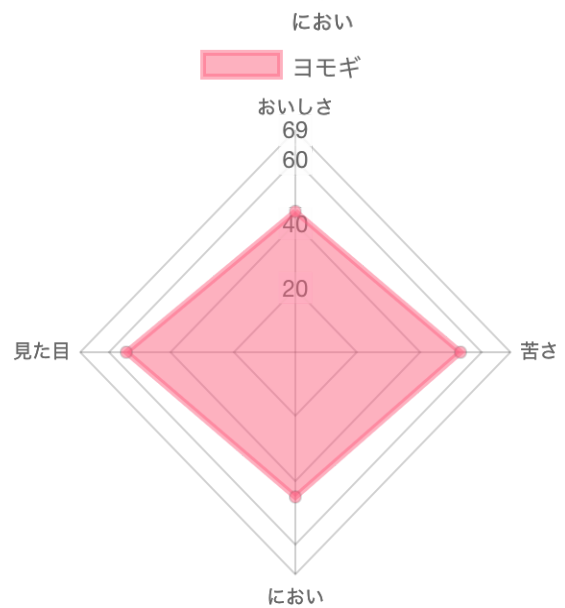
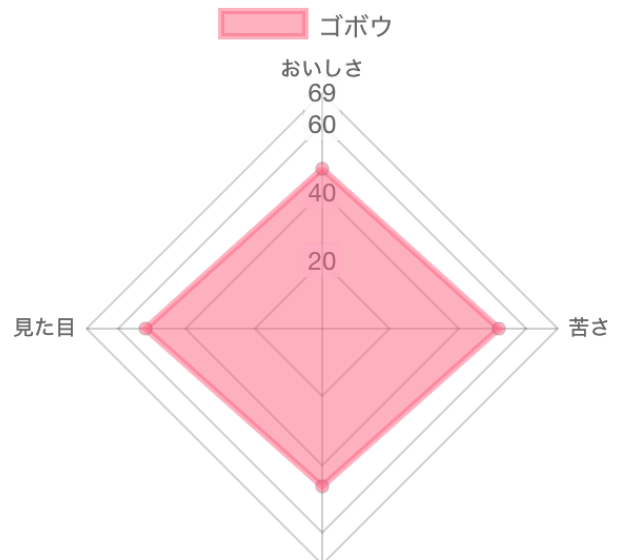
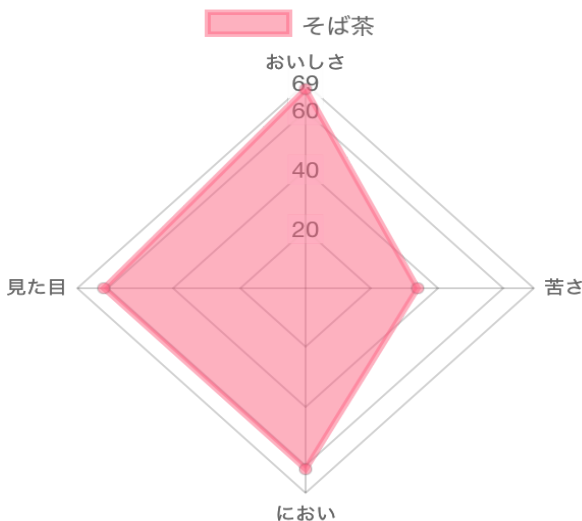
④ごぼう茶

・ ダイエット効果や美肌効果、冷え性改善、風邪予防、疲労回復などの効果が期待されている。

・ 中国から漢方薬として日本に伝来し、江戸時代頃から薬茶としての利用が広まったとされている。

。

5. 結果・考察



(4種類のお茶の評価グラフ) 23名の方にヨモギ、リンゴの葉、ゴボウ、そば茶の4種類のお茶を、「おいしさ」「苦さ」「におい」「見た目」の4つの

観点から3段階評価していただいたものをグラフ化

。このグラフから、馴染みのあるそば茶は苦味も感じにくく美味しいという評価が多いことがわかる。一方でヨモギやゴボウは初めて飲むという人がとても多く美味しいと感じにくいということがわかった。自作のリンゴの葉のお茶は、苦味が少なく美味しいと感じるという意見が多く、自作でも野草茶を美味しく作ることはできるということがわかった。また、試飲してもらった後にとったアンケートでは、「試飲を終えて、試飲する前よりもお茶への関心が深まった」、「色んな野草茶があって面白いと感じた」という意見が多く見られ、研究する目的の一つである「野草茶に関心を持ってもらうこと・魅力を感じてもらおうこと」を達成することができた。

6. 自分の提案 (答え)

(1) 提案 1

野草茶の魅力を広く伝えるために、誰でも気軽に野草茶に親しむことができる機会を、地域や学校などで増やす。

その理由として、現在、野草茶に対して「作り方が難しそう」「知識がないと危ない」「そもそも野草茶がどのようなものか分からない」というイメージを持つ人が多く、興味を持つきっかけが少ないことが挙げられる。しかし実際には、身近な野草を用いて作ることができ、正しい知識がを身につければ安全に飲むことが可能である。

今回、学校で試飲会を行った結果、実際に野草茶を飲む体験や、分かりやすい資料の提示によって、味や香りを直接感じることができ、不安が軽減され、関心を持ちやすくなることが分かった。以上のことから、体験の場を増やすことで、野草茶を特別なものではなく「身近な飲み物」として感じてもらうことができると考える。

(2) 提案 2

野草茶の魅力をより分かりやすく伝えるため、野草茶と市販のお茶を味・香り・色・飲んだ後の印象といった項目で比較し、その結果を図表にまとめる

。その理由は、今回の調査では、野草茶のみを対象として、飲む前の見た目や香り、色、飲んだ後の味の評価を行ったためである。野草茶だけでなく、多くの人々が日常的に飲んでいる市販のお茶と比較することで、野草茶特有の自然の香りや個性が伝わりやすくなると思う。また、比較結果を図表として整理することで、視覚的に違いが分かりやすくなり、個人の感想だけでなく、根拠に基づいた説明が可能になる。この方法は、野草茶の特徴や魅力を客観的に伝える上で有効であると思う。

7. 今後の課題

前回の検証の反省を活かし、自作の野草茶を美味し

くすることができた。しかし、成功したものが1種類だけになってしまったので、もっと事前準備を計画的にして実験する必要があると考えた。また、データの数が少なかったため、信憑性の高い結果を導くことができなかった。このことから検証の段階でより多くの人に協力してもらえ工夫をすることの重要性に気がついた。

8. 引用・参考文献

・ りんごの葉茶

<https://www.ikadogen.co.jp/ringo-hanocha/>

・ ヨモギ茶

https://furunavi.jp/discovery/knowledge_food/202502-mugworttea/

・ そば茶

<https://sobadokoro-sarashina.com/blog/20250528-33631/#heading-1>

・ ごぼう茶

<https://www.hotei-farm.com/journal/>

物価高クッキング

—植物由来の食材と主食の変更—

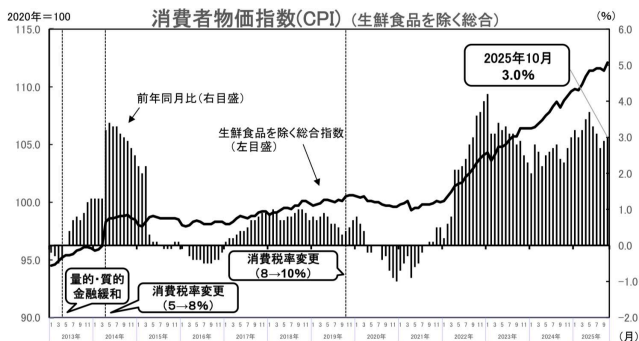
研究者 2年 1組 19番 氏名中島幸太郎
 2年 1組 25番 氏名松橋新
 2年 1組 26番 氏名丸山健太郎
 2年 1組 34番 氏名八木澤駿

1. 研究目的 (問題意識)

近年、日本では物価が上がり、野菜や肉、魚、調味料などの価格も高くなってきている。そのため、毎日の食事にかかる費用が以前より増え、食費のやりくりで困る家庭も増えている。この状況から、少ない予算でもおいしく満足できる食事を作る方法を考える。店舗で食材の価格を調べ、安く手に入りやすい食材を使ったレシピを作ってみる。実際に料理をして味や費用を確認し、家庭でも無理なくできる節約の方法を考察する。最終的に、食費を抑えながら満足できる食卓を作る工夫を提案する。

2. 現状 (先行研究の分析)

- 物価上昇について
 - 家計が購入する財やサービスの価格変動を示す消費者物価指数(生鮮食品を除く総合)は、2013年4月の日本銀行による量的・質的金融緩和の導入後、一年以上にわたり上昇傾向
 - 2020年は新型コロナウイルス感染症の影響により原油安により「エネルギー」が下落
 - 2024年はうるち米の需給の引き締めに加え、生産コストや運送費が上昇し、米類を含む「生鮮食品を除く食料」などが上昇

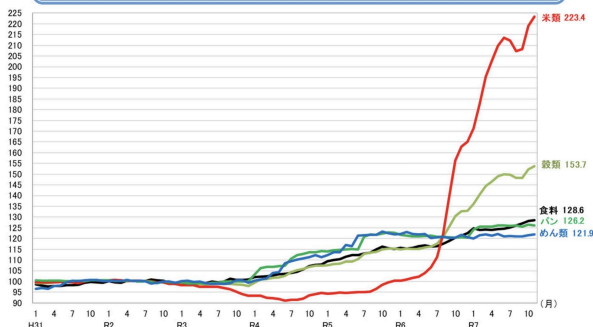


(グラフ1) 消費者物価指数の推移

□米類の価格上昇はその他の食品類と比べて著しい

消費者物価(全国)の推移(総務省 消費者物価指数)

・ 総務省が公表している消費者物価指数(令和2年基準)によると、令和7年11月の米類の指数は対前年同月比 +37.1% (対前月比: +1.9%) の223.4ポイント。



(グラフ2) 食品の分類別消費者物価指数の推移

3. 仮説

消費者物価指数は全体的に上昇しているが、上がり幅が小さい食品もある。今回はそのような食品を使うことで費用を抑えられる抑えることができると予測し、費用を2割削減できると考える。

4. 研究方法 (研究手法)

カレーライス・八宝菜・グラタンの3つの料理で、それぞれインターネットで検索した際の上位に出てきたレシピを元の作り方とする。元の作り方を基準の費用として、材料費が高い食材を別の食材に変えられないかを重点的に、作り方の変更できる点を考え、どれだけ費用を抑えることができたかを検証する。変更した作り方で実際に作ってみて、賞味できる料理であるか、作り方は煩雑すぎでないかを確認する。基本的に材料を変更する前後で食材の使う量は変えない(例;人参100g→大根100g)。しかし、主食(米、餅など)は変更することによって大きく満腹感やカロリーに変化が生じることがあるため、なるべくカロリーが同等になるよう変更している。使用するレシピは変更した食材に関係するところ以外は変えない。材料を変更した後の料理を試食して、食卓で提供できる味かどうかを確認する。

4. 結果・考察

〈結果〉

カレーライス・八宝菜・グラタンの3つの料理において、レシピ、材料の変更点、変更前後の価格と味の評価についてそれぞれ示す。レシピで、使用する量が少ない調味料等は今回の費用計算から省略している。

□カレーライス(6皿分)

○レシピ 3)

- ・ カレールー : 1/2箱 (115g)
- ・ 牛肉 (角切り) : 250g
- ・ 玉ねぎ : 2個 (400g)
- ・ じゃがいも (中) : 1・1/2個 (230g)
- ・ にんじん : 1/2本 (100g) ・ サラダ油 : 大さじ1
- ・ 米 : 5合 (750g, 1200kcal)

変更後

- ・ 餅 : 550g (1200kcal) ・ 厚揚げ : 250g ・ 大根 : 400g

○変更前後の価格と合計の材料費

材料	変更前		変更後	
	品名	価格	品名	価格
	白米	650円	餅	500円
	牛肉	800円	厚揚げ	110円

	玉ねぎ	130円	大根	60円
合計	1580円		670円	

○味の評価

餅は電子レンジで加熱して柔らかくしてからカレーと混ぜた。費用を大幅に減らせてかつ、味もよくカロリーを白米と同じように摂取できるため、効果的に費用を減らせる方法であると考えた。肉を使わず、厚揚げで代用したが可もなく不可もなくといった印象で不味くはない。大根が味をよく吸うことが原因で大根だけ異様に味が濃く、食べづらいと感じた。料理全体として大根が悪目立ちしてしまうため、玉ねぎをそのまま使うことでおいしく食べることができる。

□八宝菜

○レシピ 4)

- ・豚バラ肉（薄切り）：100g ・白菜：160g
- ・にんじん：中½本
- ・シーフードミックス：100g
- ・うずらの卵：4個 ・玉ねぎ：25g
- ・木耳：5g

変更後

- ・魚肉ソーセージ：100g ・キャベツ：160g
- ・かまぼこ：100g ・白玉：4個
- ・もやし：25g ・ワカメ：5g

○変更前後の価格と合計の材料費

	変更前		変更後	
材料	豚肉	150円	魚肉ソーセージ	80円
	白菜	80円	キャベツ	40円
	玉ねぎ	110円	もやし	20円
	シーフードミックス	200円	かまぼこ	110円
	うずら卵	100円	白玉	30円
	木耳	30円	ワカメ	20円
合計	670円		320円	

○味の評価

大きく食材を変えてみたが、全体的な変化はさほど感じなかったが、白玉は少し食べづらさを感じた。また、白玉は自ら玉をつくる作業から始めるため、料理の手間が増えてしまった。白菜・玉ねぎをキャベツ・もやしに変えたことで食感は少し落ちたと感じた。魚介・肉・木耳の変化については味はどうしても少し変わってしまうものの、ほとんどおいしさも変わらずに食べることができた。うずらの卵→白玉は食感が変

わってしまう点と手間が煩雑になってしまうという点から少しミスチョイスであったと感じた。

□グラタン(4人分)

○レシピ 5)

- ・マカロニ：100g ・小麦粉：40g
- ・鶏もも肉：180g ・玉ねぎ：1/2個（100g）
- ・マッシュルーム：5～7個（75g） ・バター：50g
- ・生乳：500cc ・チーズ：50g
- ・バター：20g

変更後

- ・成分調整乳：500cc ・じゃがいも：180g
- ・スパゲッティ：100g ・しめじ：75g

○変更前後の価格と合計の材料費

	変更前		変更後	
材料	生乳	120円	成分調整乳	80円
	鶏もも	250円	じゃがいも	130円
	マカロニ	100円	スパゲッティ	60円
	マッシュルーム	120円	しめじ	80円
	バター	60円	マーガリン	20円
	ピザチーズ	80円	スライスチーズ	70円
合計	840円		550円	

○味の評価

生乳を成分調整乳に変更したが、特に変化は感じられなかった。鶏肉に替えたじゃがいももうまく料理になじんでいて、美味しく食べられた。スパゲッティはマカロニに比べて細いため、食感も目立たず少し食べづらかった。わざわざマカロニをスパゲッティに変更するくらいであれば、入れなくても良いと感じた。マッシュルームをしめじに変えると風味は落ちるが悪い味ではない。

□まとめ

今回作った料理の変更前と変更後の材料費は次のとおり。

	変更前	変更後	削減率
カレーライス	1580円	670円	42
八宝菜	670円	320円	48
グラタン	840円	550円	65

※削減率は変更前の価格を100として変更後の価格を割合で表したもの

上の表より、どの料理も3割以上の材料費の削減ができた。これは仮説の2割の削減よりも大きく、仮説は正しかったといえる。

〈考察〉

今回の結果から、材料の変更前後で大きく費用を下げられたのは以下の食材

- ・牛肉角切り800円→厚揚げ110円
- ・バター60円→マーガリン20円
- ・鶏もも250円→じゃがいも130円
- ・うずらの卵100円→白玉30円
- ・豚肉150円→魚肉ソーセージ80円
- ・玉ねぎ130円→大根60円
- ・玉ねぎ110円→もやし20円
- ・白米650円→餅500円

これらの変更で、上の4つの変更に通ずる点は動物由来の食材から植物由来の食材に変更したという点。これは動物由来の食材は植物由来の食品に比べて生産コストが高くなる傾向があること、植物の方が動物に比べて生産期間が短くなるため、回転率が高いということに起因すると考えられる。

野菜については旬の野菜を使う、もやしや根菜など価格が安い傾向にあるものを積極的に使うことで費用を抑えることができる。しかし、カレーでの玉ねぎ→大根のように料理に全く合わない変更もあるため、調理する前に味を想像してみたり、少し我慢しながらも覚悟を決めて料理をし、試行してみたりすることが必要である。

また、餅は白米に比べて満腹感を得られるため、米よりも少ない量で済むこともあるので、白米の高騰が続く昨今の情勢で白米を餅に変更するのはよい変更だと考える。

5. 提案

提案1 動物由来の食材から植物由来の食材に変更する

考察にもある通り、動物由来の食材から植物由来の食材に変更すると元の食材の価格の半額程度まで材料費を抑えることができ、効果的な変更である。しかし、植物由来の食材に変更することによって味や満足感が失われることがあるため、一概に全ての動物由来の食材を植物由来の食材に変えることはしない方がよい。

提案2 主食を白米以外の食材に変更する

近年、白米の価格は上昇傾向にあり、家計への負担が大きくなっている。そのため、主食を白米に固定せず、餅やじゃがいもなどの比較的安価でカロリー効率の高い食材を必要に応じて選択することが重要であると考えられる。特に餅は少量でも満腹感を得やすく、価格とカロリー効率の両面で有効な主食の選択肢と言える。物価高が続く状況では、白米を前提としない主食選びを行うことが低コストで効率よくカロリーを摂取するための有効な工夫である。

6. 今後の課題

この研究では食費を抑えつつ、満足できる食卓を作るための工夫の提案をしてきた。しかしこれらの工夫を実用的なものとするためにはいくつか課題が残されている。

一つは栄養の偏りに関する課題である。今回のグラタンでの鶏もも→じゃがいもの変更のようにタンパク質の摂取量が明らかに減ってしまうことがある。植物由来の食材や炭水化物を中心とした食事はエネルギーは確保できるが、タンパク質など一部の栄養素が不足する可能性がある。また、これらの食材を継続的に取り入れた場合、味や食感の面で飽きが生じる可能性がある。そのため、今後は植物由来の食材を使いながらも組み合わせで栄養バランスを整える必要がある。

もう一つは価格変動への対応に関する課題である。植物由来の食材や代替食も季節や需要などの変化によって価格が変動する可能性がある。そのため特定の食材に頼るのではなく、複数の選択肢を比較しながら、情勢に応じて最適な食材を選べる視点が必要である。

7. 引用・参考文献

(グラフ1)総務省統計局 “2020年基準 消費者物価指数 全国 2025年(令和7年)11月分(PDF: 388KB)”

<https://www.stat.go.jp/data/cpi/sokuhou/tsuki/index-z.html>

(グラフ2)農林水産省 “消費者物価(全国)の推移(総務省 消費者物価指数)(PDF: 311KB)”

https://www.maff.go.jp/j/svouan/keikaku/soukatu/attach/pdf/r6_kome_rvutu-391.pdf

3)ハウス食品 “基本のカレーの作り方(動画付き) | カレーを作る - ハウス食品”

<https://housefoods.jp/data/curryhouse/cook/basic.html>

4)デリッシュキッチン “初めてでも失敗しない王道レシピ! 基本の八宝菜の作り方”

<https://delishkitchen.tv/recipes/201257997647741286>

5)株式会社ニッポン “マカロニグラタンのレシピ【30分/476kcal】”

https://www.nippon.co.jp/recipe/pasta_gratin/gratin/detail/1195699_10049.html

お茶による多様な人の味覚と売り上げ

研究者 2年 1組 21番 七海真帆
2年 5組 7番 大澤歌鈴
2年 6組 25番 中澤愛子

1. 研究目的 (問題意識)

茶道を通して抹茶を飲む年代が上がってきていることを知り、年代によって好むお茶の種類が味覚の感じ方によって変化しているのではないかと考えた。また、近年家庭で茶葉を用いて飲むお茶全体の需要が減少しており、年代で好むお茶がわかることでペットボトルによる売り上げにも関係すると思ったから。

2. 現状 (先行研究の分析)

(1) 世代・性別・地域別の味覚の変化

インターネットで世代・性別・地域別の味覚の変化を調べた。

世代: 若年層は甘味を好み、年齢が上がるにつれて苦味への許容度が増え、多様な味を好むようになる。

性別: **男性** 苦味 香ばしいお茶
女性 甘味 爽やかなお茶

地域別:

北海道・東北地方: 緯度が高く寒い地域のため塩味の強い保存食が発達し、塩味を好む傾向がある。

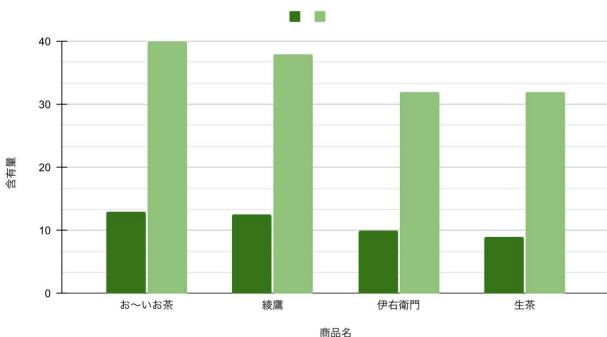
西日本: 出汁文化が深く根付いており、旨味を好む傾向にある。

九州: 甘い醤油が特徴であるため、甘味に加え苦味など濃い味を好む傾向にある。

(2) 各メーカーのペットボトルの緑茶のカテキン量
各メーカーのペットボトルの緑茶のカテキン量を聞き取り調査などからまとめた。

※ **濃い緑**: カフェイン含有量
薄い緑: カテキン含有量

カフェイン・カテキン含有量



カフェインやカテキンによって緑茶の味覚の感じ方が異なるため、含有量が多いほど苦く感じる。

- ・ 図より、「お〜いお茶」がカフェインやカテキンの含有量が多いことから、4つのペットボトルの緑茶の中で最も苦いと考えられる。対して、「生茶」は4つのペットボトルの緑茶の中でカフェインやカテキンの含有量が少ないことから、最も甘いと考えられる。
- ・ 図より、4つのペットボトルの緑茶全てにおいてカテキンの含有量がカフェインの含有量を大きく上回っていることがわかる。

3. 研究方法 (研究手法)

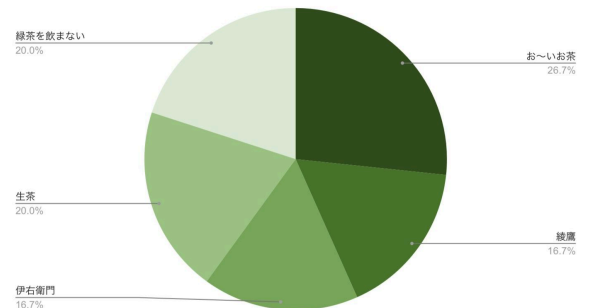
- ① フォーム・Instagramで男女別に好むペットボトルの緑茶の調査
- ② スーパーへの聞き取り

4. 結果・考察

- ① フォーム・Instagramで本校の男女別にアンケートをとった結果は以下の通り。

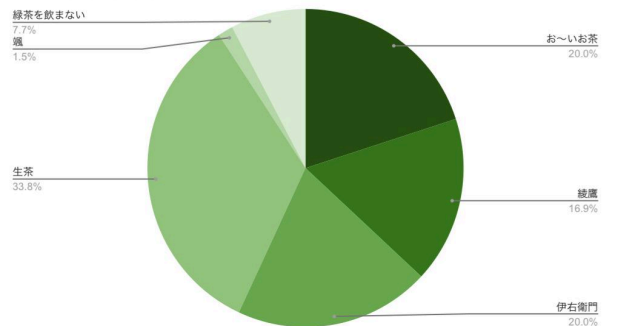
男性: 1位 お〜いお茶 2位 生茶 3位 伊右衛門
4位 綾鷹

好きな緑茶 (男性)



女性: 1位 生茶 2位 お〜いお茶 3位 伊右衛門
4位 綾鷹

好きな緑茶 (女性)



グラフから、男性はお〜いお茶、女性は生茶を好む人が多いことが分かる。

②各地方のスーパー・全国にあるコンビニへ聞き取り調査を行った。調査内容は以下の通り。

- ・どのどのメーカーのペットボトルの緑茶をどのくらい仕入れているのか
- ・各メーカーのペットボトルの緑茶の売り上げ
- ・客層(性別・年代)、ターゲット層

今回の調査では計35社に回答をお願いしたが、4社のみの回答となった。

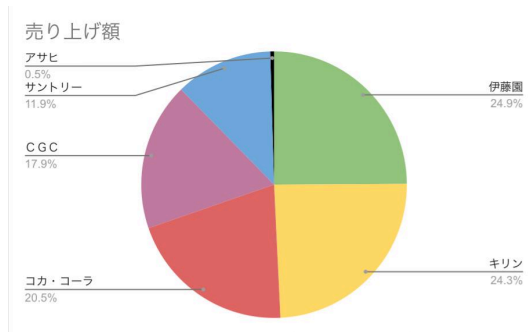
返信	回答内容	回答状況
あり	承諾	4社
あり	開示不可能	16社
なし	×	15社

聞き取りしたスーパーの分布	会社数
北海道・東北	3
関東	3
中部	7
近畿	5
中国	3
四国	4
九州	4

〈広島県 株式会社フレスタ 御中〉

各グラフ2025年1月-10月のデータ
店舗/広島市内30店、その他広島県内31店、
岡山県内4店(岡山、新見、門田屋敷)、
山口県内1店(岩国)

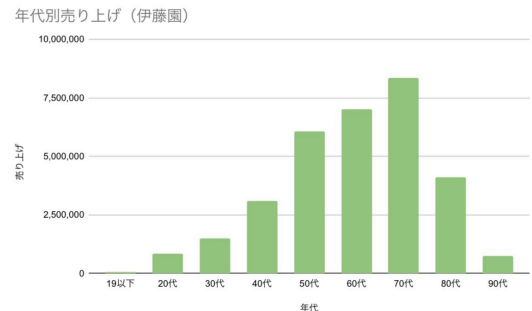
～売上げ額～



上図からわかるように、「伊藤園」・「麒麟」 「コカ・コーラ」の割合が多くなっている。

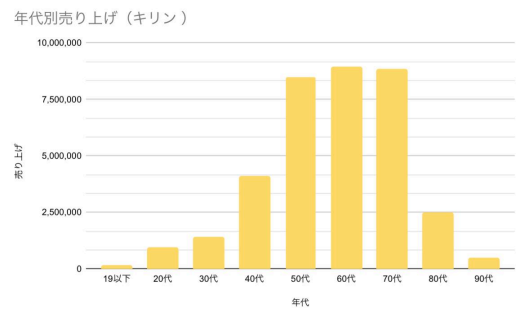
～各メーカーごとの売り上げ額～

(1)伊藤園様



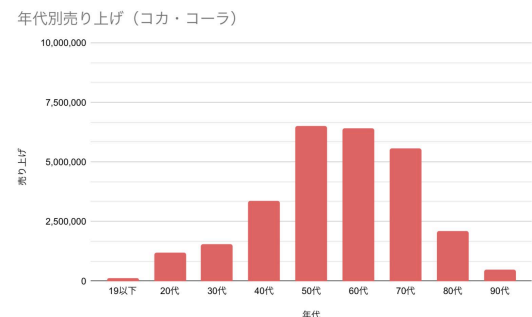
グラフからわかるように、19歳以下は売り上げが少ないが、年齢が上がるにつれ売り上げが多くなっていく。60代から70代が最も多い。

(2)麒麟様



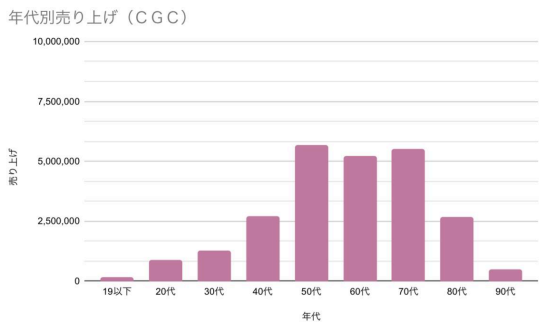
グラフからわかるように、50代から70代までが最も多い。伊藤園と比べて若い人の売り上げが少ない。

(3)コカ・コーラ様



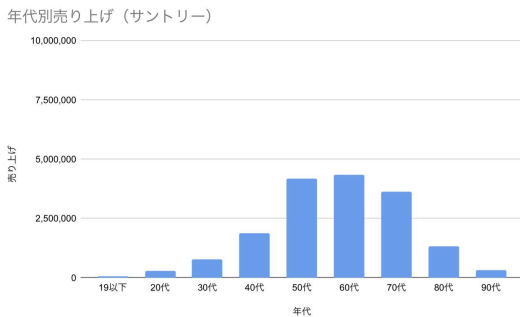
グラフからわかるように、50代が最も多い。先ほどの2社に比べ、30代から40代の売り上げが多くなっている。

(4)CGC様



グラフからわかるように、50代から70代までの売り上げは他社と同じく多くなっている。他社と比べ、80代の売り上げが多い。

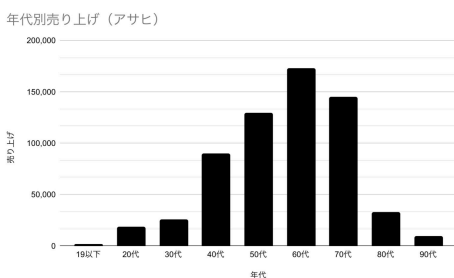
(5)サントリー様



グラフからわかるように、50代から70代までの売り上げが他社と同じく多い。

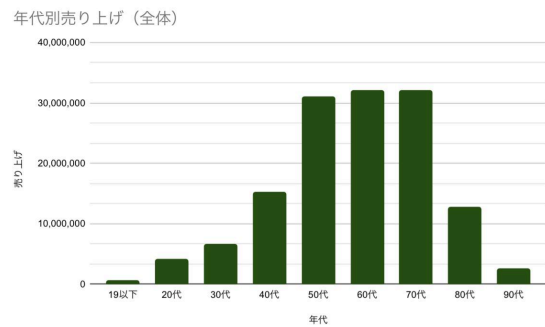
(6)アサヒ様

※売上の値が他に比べ小さい



グラフからわかるように、60代の割合が最も多い。40代の割合も他社に比べ多くなっている。

～客層、商品のターゲット層～



各メーカーの売り上げと同じく、50代から70代までの売り上げが最も多い。

〈島根県 みしまや 御中〉

店舗/島根県内(松江市11、雲南市1、大田市1)

～各メーカーのペットボトルの緑茶の仕入れ～
単月あたりの仕入れ量(CS)

※CS=12PCS

伊藤園様	約100CS
コカ・コーラ様	約200CS
キリン様	約30CS
サントリー様	約30CS
CGC様	約300CS

～客層、商品のターゲット層～

30代から60代

健康志向系、あっさりした飲みやすいタイプ
茶葉の味がしっかりした商品

〈長野県 株式会社ツルヤ 御中〉

店舗/長野県37店、群馬県6店

～客層、商品のターゲット層～

- ・まるやか系：「お～いお茶」「キリン生茶」
渋みが抑えられ、まるやかで飲みやすい。
→オールターゲット
- ・濃茶系
渋みが際立ち、カテキンやカフェインが多く含まれる。体脂肪を減らす働きが注目されている。
→30代、40代以上の男性中心
- ・スッキリ系：「アサヒ颯」「伊藤園PUREGREEN」等
緑茶でありながら紅茶のような華やかな香りで若年層に支持されている。
→10代、20代若年層
- ・トクホ系：「サントリー特茶」「キリンヘルシア」

機能性表示、特定保健食品など。茶カテキンを高濃度で含有。
→健康を気にされている方

〈岐阜県 バローホールディングス 御中〉

店舗/249店(京都府、滋賀県、大阪府、奈良県、兵庫県、山梨県、長野県、愛知県、岐阜県、三重県、静岡県、石川県、富山県、福井県、神奈川県)

～各メーカーメイン緑茶飲料の年間仕入れ本数～

・伊藤園お〜いお茶緑茶600ml	4,000,000本
・コカ・コーラ綾鷹650ml	2,300,000本
・麒麟生茶525ml	2,500,000本
・サントリー伊右衛門600ml	1,500,000本

～各メーカーメイン緑茶飲料の年間売上金額～

・伊藤園お〜いお茶緑茶600ml	332,000,000円
・コカ・コーラ綾鷹650ml	190,000,000円
・麒麟生茶525ml	155,000,000円
・サントリー伊右衛門600ml	124,000,000円

～各メーカーメイン緑茶飲料のターゲット層～

・伊藤園お〜いお茶緑茶600ml	40～60代男女
・コカ・コーラ綾鷹650ml	20～30代男女
・麒麟生茶525ml	10～30代男女
・サントリー伊右衛門600ml	40～50代男女

ご協力いただいた、「株式会社フレスタ様」「みしまや様」「株式会社ツルヤ様」「バローホールディングス様」ありがとうございました。

③アンケートと聞き取り調査より

企業ごとの年代別売り上げでは、すべてのメーカーにおいて50代～70代の売り上げが最も高くなっている。一方10代・20代の売り上げは全体的に低いことが読み取れる。市販の緑茶の主成分が苦味を感じさせるものであることを考慮すると、年齢が上がるにつれ苦味を含む緑茶を受け入れ好んで飲む人が増える傾向にあると言える。フォーム・Instagramでの男女別アンケートでは、男性からは苦味成分の多い「お〜いお茶」が最も人気であり女性からは苦味が比較的抑えられた「生茶」が最も人気であった。これらの結果はどちらも先行研究と一致している。地域による味の好みの仮説については、参照できたデータに偏りがあったため今回のデータだけでは十分な検証ができなかった。

5. 提案

(1) 提案1

ペットボトルのお茶と茶葉からのお茶の濃さが同じ物の提案
→茶葉のお茶から好みの濃さのお茶を飲むことでペットボトルの削減に繋がる

(2) 提案2

性別、世代、ペットボトルに対応した濃さと、カフェイン・カテキン含有量から、飲みやすいお茶や健康に良い飲み方、飲む時間帯の提案

(3) 提案3

茶道班なのでお茶を点てる時に生かす

6. 今後の課題

企業への聞き取りから、地方ごとのブランド別でのお茶の売り上げによる味覚の特徴の可視化を図ったが、お答えしていただけない企業もあったため細かい調査を行った上での考察ができなかった。今後の課題としては、より多くの企業に問い合わせを行いデータの量を増やすか別の方法を用いて地方ごとの味覚の特徴を可視化させ、探求の結果の信頼性を高めていくことである。

7. 引用・参考文献

- 1) 〈お茶のおいしさと健康を科学する〉
<https://www.ochalabo.com/knowledge/knowledge20150520.html#kiyota>
- 2) 〈味の地域差にる調査2024〉
<https://www.kiyota-s.com/-diary/2600>
- 3) 〈お茶に含まれる栄養素とその含有量〉
<https://www.zennoh.or.jp/bu/nousan/tea/katsuvou01a.htm>
- 4) 〈緑茶のカテキン類含有量〉
https://www.do-svouhi-c.jp/test/kiral24rvokutyano_katekin.pdf
- 5) 〈マイナビ2027(株)フレスタ〉
<https://job.mynavi.jp/27/pc/search/corp65857/outline.html#:~:text=%E3%83%95%E3%83%AC%E3%82%B9%E3%82%BF%EF%BC%9A%E5%BA%83%E5%B3%B6%E7%9C%8C%E3%82%92%E4%B8%AD%E5%BF%83,%E3%81%AE%E7%B5%8C%E5%96%B6%EF%BC%8865%E5%BA%97%E8%88%97%EF%BC%89%E3%80%82>
- 6) 〈みしまや〉
<https://www.mishimaya.com/stores/>
- 7) 〈バロー〉
<https://stores.valor.jp/all/>
- 8) 〈ツルヤ〉
https://www.tsuruva-corp.co.jp/gunma_area/