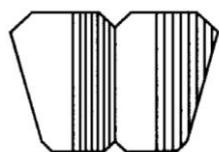


令和4年度指定 スーパーサイエンスハイスクール

令和6年度

研 究 活 動 報 告 集

第3年次



令和7年3月

京都府立洛北高等学校

目 次

課題探究Ⅱ（高校2年）

【化学】

シャボン膜を用いた親水性の大小の調査.....	1
齋藤 慶子・高井 双葉・松浦 華子	
グルテニンとグリアジンの組成比の違いが生地に与える影響.....	7
塩崎 能・水野 竣介・綿谷 光太郎・上田 悠人	
プラントベースアイスの開発と評価.....	11
西出 真子・淵田 真央・高橋 知沙・田畑 日奈子	
ワセリンの混合やアセタール化によるにんじんフィルムの撥水性について ～にんじんフィルムを撥水させるには～	17
大黒 莉央・加藤 来海・山室 万悠子	
炎色反応の波長とその強度 ～エネルギーの観点から炎色反応を分析する～	22
藤本 陸久・宗 敦己・永山 涼太郎・東良 壮裕	
エマルジョン燃料の長期保存 ～冷凍による乳化割合の変化～	28
西村 紫音・緒方 悠希・胡 花溢	

【生物】

イチョウウキゴケのストックカルチャー化を目指した純粋培養 ～殺菌に最適な次亜塩素酸濃度の模索～	32
高松 慈・山下 慶人・森本 莉久	
ダンゴムシの好む香気成分の同定 ～彼らはビール愛好家～	37
須永 雛子・河野 一輝・長谷川 寧香・大塚 脩生	
大腸菌の発育阻害物質の効果 ～コロニーの数とサイズ、pH の比較～	41
福永 紗季・伊藤 釉名	
スナゴケの断熱性能の簡易的な測定 ～環境に優しい断熱材としてのスナゴケの可能性～	46
山本 実和・上野 瑠海・櫻井 陽斗・若山 蒼	

【環境】

使い捨てカイロを用いた生活排水の水質浄化.....	50
藤川 真綾・伏木 奈々子・青山 澄華	
性格診断におけるバーナム効果の影響 ～若年層の性格診断への依存理由と心理的役割を解明する～	55
中居 美結・富田 莉子	
コーヒーグラウンズを用いた消臭剤の作製.....	59
岡部 るり・尾谷 悠愛・佐野 綺奏・門野 瑠利佳	

帰宅困難者に有用な地図の作成 ～アンケート調査と QGIS を利用して～	64
長嶋 来実・小島 葵	

【物理地学】

最も耐荷重のあるトラス橋の探究.....	68
黒川 航介・増井 千鶴・森本 絢衣・川口 光翔	
霞堤防の諸条件における治水効果の変化 ～水平角度と鉛直角度での違い～	72
内野 迅翔・石田 賢希・磯野 晃希・木下 俊太	
フリスビーの軌道計算 ～水平距離を最大化する射出角度の導出～	76
藤澤 俊介・森山 凌・山田 悠太	
本当に圧電素子は無音時に反応しているか.....	81
辻野 友晴・浦田 滯・山本 奏慧・上田 雪翔	
ウレタンの厚さと防音効果の関係 ～周波数を変えての実験～	84
滝沢 哲平・北川 志音・古川 真大・沖本 悟史	
NACA 4 桁型翼形のパラメータと仰角が揚抗比へ与える影響.....	89
後 慶唯・望岡 友航・川畑 瑞樹・古川 翔太	

【数学】

枠に対してはみ出にくいハンコのハンコ面の形状についての考察.....	95
田渕 光希・吉野 倫五・藤居 壬楽	
複数の累乗数に区切られる累乗数について.....	98
久野 楓・鳥羽 望・伊藤 和希	

シャボン膜を用いた親水性の大小の調査

斎藤慶子 高井双葉 松浦華子

要旨

シャボン膜を用いて親水性の大小を調べた。価数、つまり分子内の親水基の数が増えるにつれて、水との結合力が高まり、親水性は大きくなると仮説をたてた。1 価、2 価、3 価のアルコール試薬をそれぞれシャボン液に加えた際の水の蒸発量と膜の保持時間を計測した。そこから、親水性の大小と親水基の数は相関関係があり、また洗剤の持つ疎水基と試薬の持つ親水基の割合によって、水の蒸発量に差が生じることが分かった。

1. はじめに

親水性とは水に対して親和性の高い性質のことを指す¹⁾。物質における親水性の大小は詳しくわかっていない。そこで本研究では、シャボン膜を使うことで親水性の大小を明らかにすることにした。シャボン液とシャボン液にエタノールを混ぜた溶液を用いて予備実験を行った。軍手をつけた手の上でシャボン玉を膨らませてバウンドをさせ、割れるまでの回数を測ることにより親水性の大小を測ることにした。結果は、エタノールを多く含んでいる溶液の方がバウンドする回数が少ないことがわかった。この実験では、まずシャボン玉として親水性を図るのは難しいことが考えられる。理由としては、シャボン玉が割れる要因は「シャボン液の蒸発」「チリやホコリの衝突」「重力による液だれ」の 3 つであることが報告されており²⁾、そこに「親水性の大小」を要因として加えると、どの要因で割れたのか分からず親水性の大小を正確に測れないためシャボン玉ではなくシャボン膜にすることにより「重力による液だれ」によってシャボン玉が割れてしまうことをなくすことにした。次にさまざまな価数の親水基を持つ試薬を用いて親水性の大小を測ることにした。予備実験によりシャボン玉が割れる要因を「シャボン液の蒸発」と「親水性の大小」に絞ることができたので、蒸発量を調べる実験において、それぞれの試薬における蒸発量にあまり差

がなければ、シャボン玉が割れる原因は「親水性の大小」のみに絞ることができると考えられるので蒸発量を調べる実験を行うことにした。

2. 材料・研究方法

2-1. 研究試料

溶液を作るのに使用したものは 1-プロパノール(分子量:62)、エチレングリコール(分子量:60)、グリセリン(分子量:92)、界面活性剤(キュキュット／界面活性剤 37%、高級アルコール系(陰イオン)、ジアルキルスルホコハク酸ナトリウム)、純水、実験器具は 100ml メスフラスコ、200ml ビーカー、5ml 駒込ピペット、電子天秤(小数点以下 2 桁)、電子天秤(小数点以下 4 桁)、溶液の膜の保持時間を測定するのに用いた実験器具はマスキングテープ、シャーレ、シャボン膜を作る輪(8 オンスのプラスチックカップの底をくり抜いたもの)、ストップウォッチ(iPad)、サランラップを用いた。

2-2. 研究方法

2-2-1. 実験 1 の研究方法

実験 1 は各溶液の蒸発量を測定する実験である。まず駒込ピペットとメスフラスコを用いて A、A-1 から A-5、B、B-1 から B-5 を作成。ただし溶液 A-1 から A-5、B、B-1 から B-5 については溶質を全て

加えた後、最後に純水を加え、溶液の体積を 100mL にした。溶液 A-1 から A-5、B、B-1 から B-5 に入れる溶質は以下に記載したものである。

A: 純水のみ

A-1: エタノール 0.01mol (0.46g)

A-2: メタノール 0.01mol (0.32g)

A-4: エチレングリコール 0.01mol (0.62g)

A-5: グリセリン 0.01mol (0.92g)

B: 洗剤 0.5g

B-1: 洗剤 0.5g, エタノール 0.01mol (0.46g)

B-2: 洗剤 0.5g, メタノール 0.01mol (0.32g)

B-4: 洗剤 0.5g, エチレングリコール 0.01mol (0.62g)

B-5: 洗剤 0.5g, グリセリン 0.01mol (0.92g)

作成した溶液をそれぞれビーカーに移し、ラップでビーカーに密閉して、電子天秤で質量を測定した。測定後、ビーカーにつけたラップをビーカーの側面につけたまま溶液が蒸発するように剥がして、1 時間放置した。放置した後、再びラップでビーカーに密閉し、それぞれの溶液の質量を電子天秤で測定した。ラップで密閉するのは測定時の蒸発を防ぐためである。

2-2-2. 実験 2 の研究方法

A、A-3 から A-8、B、B-3 から B-8 を実験 1 と同様の方法で作成した。ただし溶液 A-3 から A-8、B、B-3 から B-8 については溶質を全て加えた後、最後に純水を加え、溶液の体積を 100mL にした。溶液 A-3 から A-8、B、B-3 から B-8 に入れる溶質は以下に記載したものである。

A: 純水のみ

A-3: 1-プロパノール 0.01mol (0.60g)

A-4: エチレングリコール 0.01mol (0.62g)

A-5: グリセリン 0.01mol (0.92g)

A-6: 1-プロパノール 0.1mol (6.0g)

A-7: エチレングリコール 0.1mol (6.2g)

A-8: グリセリン 0.1mol (9.2g)

B: 洗剤 0.5g

B-3: 洗剤 0.5g, 1-プロパノール 0.01mol (0.60g)

B-4: 洗剤 0.5g, エチレングリコール 0.01mol (0.62g)

B-5: 洗剤 0.5g, グリセリン 0.01mol (0.92g)

B-6: 洗剤 0.5g, 1-プロパノール 0.1mol (6.0g)

B-7: 洗剤 0.5g, エチレングリコール 0.1mol (6.2g)

B-8: 洗剤 0.5g, グリセリン 0.1mol (9.2g)

作成した溶液をそれぞれビーカーに移し、ラップでビーカーに密閉をして、電子天秤で質量を測定した。測定後、ビーカーにつけたラップをビーカーの側面につけたまま溶液が蒸発するように剥がして、1 週間放置した。放置した後、再びサランラップでビーカーに密閉し、それぞれの溶液の質量を電子天秤で測定した。ラップで密閉するのは測定時の蒸発を防ぐためである。

2-2-3. 実験 3 の研究方法

実験 3 では膜の保持時間を測定した。まず、実験 1 と 2 で作成した B、B-1、B-2、B-3、B-4、B-5 をそれぞれシャーレに底面が浸る程度まで移した。そして、プラスチックカップを用いて作った輪をそれぞれのシャーレに浸して膜を作り、その保持時間を 5 回測定した。(図 5)

3. 結果

3-1. 実験 1 の結果

蒸発量については表 1、図 1 のようになった。

表 1. 溶液の蒸発量 (g)

A	0.53
A-1	0.44
A-2	0.49
A-4	0.57
A-5	0.53
B	0.51
B-1	0.22
B-2	0.57
B-4	0.46
B-5	0.44

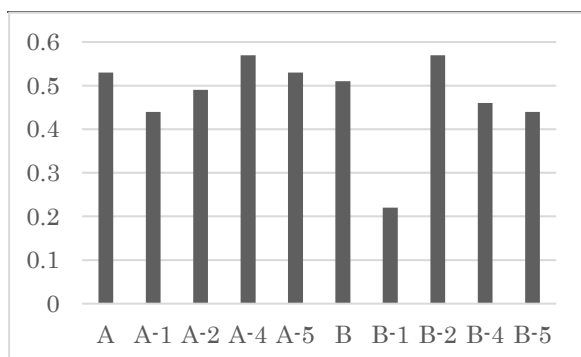


図 1. 溶液の蒸発量 (g)

3-2. 実験 2 の結果

以下の結果が出た。(表2, 図 2) 純水のみと, 純水に洗剤を加えたものとを比べると, 5 回とも洗剤を加えた溶液の方が蒸発量が大きくなった。0.01mol の 1-プロパノールとエチレングリコールを加えた溶液も同様に, 洗剤を加えた場合の方が蒸発量が大きくなるのが過半数回を占め, 平均的に見てもそのような結果になった。一方, グリセリンの場合に関しては, 1回目を除いて洗剤を加えた方が蒸発量が小さくなった。また, 純水にそれぞれのアルコールを 0.01mol 加えた溶液は, 価数の大きさに伴って蒸発量が増えていった。他方, 加える 1-プロパノール, エチレングリコール, グリセリンを 0.1mol ずつ入れて行った場合, 価数の大きさによる蒸発量との関係には明確な相関関係は見られなかった。また, 結果が日によって非常に不安定だった。よって, 0.1mol の薬品を加え

た溶液の蒸発量の測定は, 3 回の実験をもって打ち切った。しかし, ここには 3 回分のデータもつけておく。(表 3, 図 3)

表 2. 溶液の蒸発量 (g) /各アルコール薬品の量は 0.01mol

	1	2	3	4	5	平均
A	14.62	13.32	14.37	20.39	18.28	16.20
A-3	14.89	12.67	16.08	15.15	13.34	14.43
A-4	16.11	13.52	14.97	20.53	15.45	16.12
A-5	13.87	15.04	13.07	24.01	14.67	16.13
B	18.55	19.74	16.22	21.87	20.43	19.36
B-3	15.85	15.43	14.70	18.60	16.09	16.13
B-4	15.05	14.98	20.72	15.30	16.56	16.52
B-5	14.36	13.65	10.75	20.45	14.63	14.77

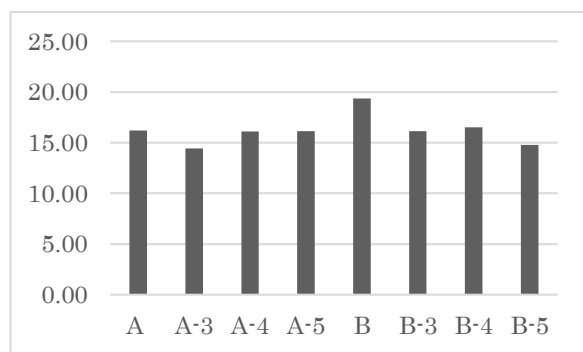


図 2. 溶液の蒸発量 (g)

表 3. 溶液の蒸発量 (g) /各アルコール薬品の量は 0.1mol

	1	2	3	平均
A-6	15.75	14.05	14.48	14.76
A-7	13.30	13.73	12.69	13.24
A-8	16.23	15.77	20.01	17.34
B-6	20.10	23.12	18.47	20.56
B-7	13.53	14.05	10.71	12.76
B-8	14.02	15.10	13.86	14.33

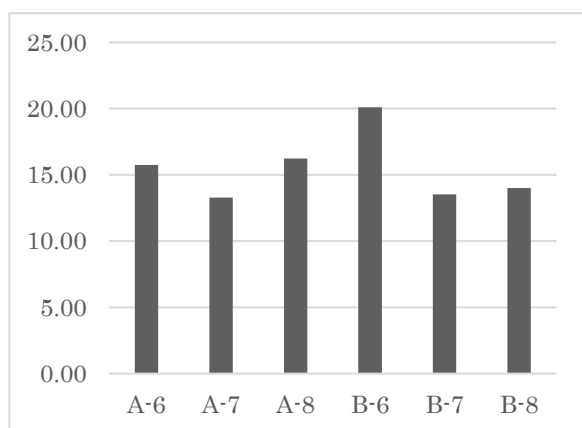


図3. 溶液の蒸発量 (g)

3-3. 実験3の結果

親水基の数が同じである B-1, B-2, B-3 では, B-3 が一番保持時間は長くなった. 平均を見ると, 価数の大きさに伴って膜の保持時間が長くなった.

(表4, 図4)

表4. 膜の保持時間(秒)

溶液	1	2	3	4	5	平均
B	31.0	20.0	22.0	23.0	23.0	23.8
B-1	17.0	22.0	39.0	30.0	23.0	26.2
B-2	32.0	37.0	35.0	38.0	38.0	36.0
B-3	22.0	28.0	30.0	50.0	61.0	38.2
B-4	41.5	62.1	62.9	35.6	38.8	48.2
B-5	82.0	113.0	162.0	86.0	123.0	113.2

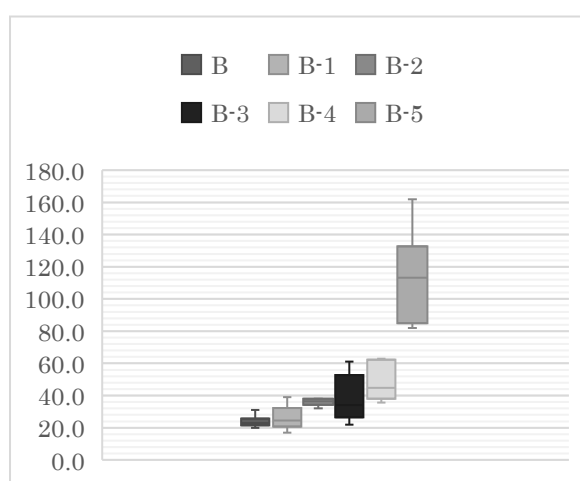


図4. 膜の保持時間 (秒)

4. 考察

4-1. 実験1の考察

蒸発量については蒸発量の差は小数第2位までの差になったので, どの溶質を使っても蒸発量に大差はないと考えられる. しかし, 今回蒸発させた時間は1時間で, あまり顕著な差が見られず断定的な結果が得られなかった. 実験2では, 蒸発させる期間を1週間に延ばして観察することにした. また0.1mol/Lの溶液を使用したの. で, 1.0mol/Lの溶液を使用して結果がどう変化するかを実験2において調べることにした. またメタノールとエタノールは沸点が低く蒸発しやすいので実験2においては1-プロパノールを使用することにした.

4-2. 実験2の考察

まず実験2においてAとBではBの方が蒸発量が多くなるという結果が得られた. これは洗剤の構造によるものだと考えられる. 洗剤は1つの分子の中に親水基と疎水基の二つを持ち合わせているということが報告されており⁵⁾ 水と油を混ぜる際に洗剤はよく使われるが, 水のみと洗剤を混ぜた際には親水基の部分は水と結合するが, 疎水基の部分は水と親和しないのでその分の水が蒸発してしまうのではないかと考えられる⁴⁾. 結果から1-プロパノールとエチレングリコールに関して, 洗剤を加えた際に蒸発量が増えたのは洗剤の疎水基による影響だと考えられる. また1-プロパノール, エチレングリコール, グリセリンを比べた際に, 親水基の価数が大きいほど洗剤をいれていない溶液と入れている溶液の蒸発量の差が縮まっているのは, 親水基の数が増えることにより結合する水の量が増え, 洗剤の疎水基による蒸発量の分を補っていくからではないかと考えられる. またグリセリンにおいて, 洗剤を入れたほうが蒸発量が少なくなるのは, グリセリンの持つ親水基が結合する水の量が, 洗剤の疎水基による水の蒸発量を上回ったためだと考えられる.

親水基の数が増えると蒸発量が増えたという結

果が得られた。これは親水基は水と結合するという点に原因があると考えられる。溶質中の親水基が水と結合していない間は、親水基としてそのまま溶質中に存在しているが、水の中に溶質を溶け込ませることで溶質中の親水基が水と結合することにより親水基分の水が親水基を持っていない物質に比べてより多く蒸発するためではないかと考えらる。したがって親水基を多く持つ物質ほど蒸発量は多くなるということが示唆される。

4-3. 実験3の考察

実験3の結果から、0.1molあたりの親水基の数が多いほど膜の保持時間が長くなっていると読み取れるので、膜の保持時間は0.1molあたりの親水基の数と相関関係があると考えられる。このことから親水基の数が多いほど、親水基はより多くの水を引き付けており、分子が水を引き付ける度合い(以下、分子の親水性とする)は大きくなるのではないかと考えられる。エタノールとメタノールと1-プロパノールに関して親水基の数が等しいのに、保持時間に差があったのは、炭素の大小ではないか考えられる。これは炭素数が多いと水に溶けにくいということが報告されており³⁾、疎水性の影響を受けているからだと考えられる。実験3の結果において炭素数が揃っている1-プロパノール(C_3H_8O)とグリセリン($C_3H_8O_3$)を比較したところ、親水基の多いグリセリンの方が膜の保持時間が長いことから、炭素数が等しい物質においても分子の親水基が多いほど分子の親水性が大きくなると考えられる。また、エチレングリコール($C_2H_6O_2$)においても炭素数について考えると、これは1-プロパノール(C_3H_8O)とグリセリン($C_3H_8O_3$)よりも炭素数が少なく、多くの水を引き付けていると考えられ、膜の保持時間はこの2つよりも長くなると考えられるが、結果より、エチレングリコールは1-プロパノールよりは長かったもののグリセリンよりは短くなっている。このことから炭素数が親水性の大小に与える影響は、親水基の数が親水性の大小に与える影響よりも小さいと示唆される。したがって親水性の大小は、

親水基の数によって優先的に決定され、親水基の数が等しい物質における親水性の大小は、炭素数によって決定することができると考えられる。

5. まとめと今後の課題

1 週間放置して測定した蒸発量の結果からは親水基を多く持つにつれて蒸発量は大きくなると判断したが、シャボン膜にした際の保持時間は親水基を多く持つにつれて長くなっていった。つまり実験1と実験2では分子の親水性に相反する結果となった。ここで、シャボン膜が保持される時間は長くても2分程度であり、またシャボン膜を形成する溶液の量もわずかであるため、各溶液の蒸発量差はわずかと考えた。ゆえに、溶液100mlの1週間の蒸発量結果とシャボン膜が割れる原因には相関関係が見られないと推測される。したがって、シャボン膜が割れる原因として「蒸発量」というのはあまり大きな要因でないように思われ、分子の親水性の大小は親水基の価数が大きくなるにつれて大きくなると考えられる。アルコール薬品の親水基と、洗剤の疎水基の割合によって、「水と結合する力」と「水が蒸発する力」のバランスが変わると分かったので、今後は洗剤の割合を変えた実験も行ってみたい。洗剤の疎水基の影響で水が蒸発してしまっているという考えはあくまで仮説でしかないので、その真偽を確かめることが今後の課題としてまずあげられる。また今回の実験では親水基を持つ物質を3種類しか用いていないので、他の親水基を持つ物質で同じ実験を行い同じ結果が得られるかを検証しなければならない。

6. 参考文献

1)2023.9.15,親水性の意味とは？

<https://seiei2020.com/column/detail/22092809290646/>,2024.1.31

2)しゃぼん玉ラボ

<https://www.tomoda.ne.jp/labo/2025.01.12>

- 3)2023.10.03,化合物としてのアルコール~アルコールとエタノール①~https://www.kaken-tech.co.jp/trouble/alcohol_ethanol-1/,2024.11.22
- 4) https://coating.th-angel.com/2013/10/blog-post_9772.html
- 5) 2013.06.15,日本石鹼洗剤工業会石鹼洗剤知識洗濯,
https://jsda.org/w/03_shiki/osentakunokagaku_2.html,2025.01.10

7. 添付資料

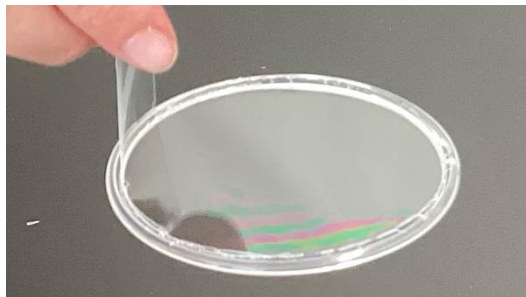


図 5. シャボン膜の形成

グルテニンとグリアジンの組成比の違いが生地に与える影響

上田悠人 塩崎能 水野竣介 綿谷光太郎

要旨

本研究では、グルテンを構成するグルテニンとグリアジンについて、グルテンにそれらを加えることによってグルテン中のタンパク質の組成比を変化させ、異なる性質のグルテンを形成することを目的とした。本実験では強力粉で作成した生地、別の生地から抽出した少量のグリアジンを混合し、通常よりもグリアジン含有量が多く、伸展性の小さい生地を得た。

1. はじめに

パンやビスケットなどの小麦粉を用いた食品は、小麦粉に含まれるタンパク質であるグルテンの性質を利用して作られている。その中でもパンは世界中で主食として幅広く愛されており、非常に身近な食べ物である。しかし、私たちが普段口にするパンはパサパサしていたり、食感が何か物足りないことが多い。そこで、私たちは、もっとパンが伸びるようになればより楽しく、そして食感に大きな充実感を感じながら食べられるようになるのではないかと考え、「よく伸びるパン生地を作る」ことを目標に実験を始めた。まず、グルテンはグルテニンとグリアジンで構成されている。これら2つのタンパク質はアミノ酸のシステインを含んでおり、システインのメルカプト基 SH がグルテンの形成に大きく関与している。2つのメルカプト基が小麦粉を水と捏ねる際に空気中の酸素によって酸化されジスルフィド結合をつくり、グルテンの弾性と粘性を合わせ持つ独特の性質を形成する一因となっている(図1, 図2)。そしてグルテニンとグリアジンがそれぞれグルテンの弾性と伸展性を担っていることが知られている。本研究ではこのグルテニンとグリアジンに着目し、生地内の組成比を調整するために小麦粉から抽出・分離することを目標とする。そして、体積が同じ小麦粉中のグリアジンと比較して非常に少ないグリアジンを通常の生地に加えることで、大

幅に組成比を変えることを試みた。

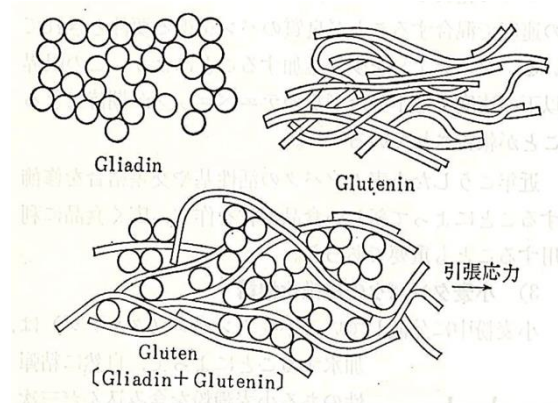


図1 グルテンの構造¹⁾

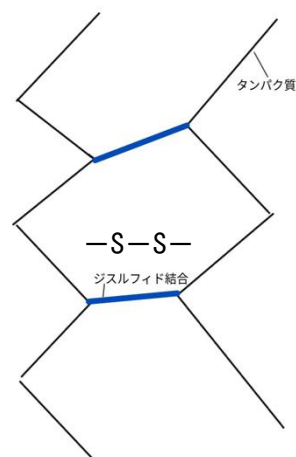


図2 ジスルフィド結合

2. 材料・研究方法

2-1. 研究試料

【実験準備】

小麦粉 100 g, 水 30 mL, ビーカー 3 個
試験管 (1 本), 電子天秤

【実験①】・グリアジンの抽出・

エタノール, クエン酸, グルテン (実験準備より作成), ウォーターバス, 水 (適量), 温度計, 遠心分離器, ガラス棒, 食塩, メスシリンダー

【実験②】・グルテニン粉末とグリアジン粉末の混合・

ラップ, グルテニン (実験①より作成), グリアジン (実験①より作成), すり鉢, 新たな小麦生地, ろうと, ろ紙

【実験③】・混合した生地の伸展性の検証・

グルテニン粉末 (実験①と同様に作成), グリアジン粉末 (実験①と同様に作成), iPad

2-2. 研究方法

【実験準備】

強力粉 100 g と蒸留水 30 mL を混ぜ合わせて, 生地がまとまってくるまで 20 分程度叩いたり, 押しつけたりしてよく捏ねた. この状態ではグルテン自体は生成しているが, 周りにデンプンがついているため, 生地がしっかりとまとまったら, ビーカーに水をためてその中でデンプンを流し落とした. デンプンが落ちると水が濁ってくるので, その都度水を入れ替えた. 水が濁らなくなったらグルテンが抽出できているはずである. 次にグルテンを乾燥させるために薄く伸ばした. 上下をラップで挟んで伸ばさなければ縮んでいくので注意する. 伸ばしきったら片側のラップを外し乾燥させた. 乾燥しきったら乳鉢などで粉状にすりつぶした. これらにより, 粉状グルテンを得た.

【実験①】

50%エタノール 120 mL に 0.6 g のクエン酸を加えた溶液をウォーターバスの中で 60℃に保ち粉末のグルテン 18.0 g を加えて攪拌した後, 遠心分離 (4000 rpm 30 分) を行い, 沈殿したグルテ

ンと残りの溶液を分離した. 残りの溶液に 26 %飽和食塩水 100 g を加え塩析によりグリアジンを抽出した.

【実験②】

実験①で分離したグルテニンとグリアジンを乾燥させて粉末状にし, 水 10 mL を加えて混ぜた. また, グリアジンと, 新たに作成した小麦生地を混ぜ合わせ, グリアジンとグルテニンの構成比を元の 1:16 (3-1 に詳細を記載) から, 1:5 に変えた. この操作によって作成した生地と, 何も手を加えていない生地を押さえながらスプーンですくって伸ばし, 両者の伸展性を比較した.

【実験③】

グルテン内のグリアジンとグルテニンの比の違いがグルテンの伸展性, 弾性などの性質にどのような影響を与えるかを調べた. グリアジンとグルテニンの合計の重さ (グルテンの重さ) を 1.0 g に固定し, それぞれの重さを次の A~D のように変えた.

A 0:10 B 1:9 C 4:6 D 7:3

そして, それぞれに 1 mL の蒸留水を加え力をかけて混ぜ合わせた. その後これらのサンプルの両端を持って引き延ばし, ちぎれるまでの長さをそれぞれ 3 回測定した.

3. 結果

3-1. 実験①の結果

分離したグルテニンとグリアジンを乾燥させて質量を測定すると, グルテニンは 15.73 g グリアジンは 1.03 g であった (この後, 小麦粉内のグルテニン, グリアジンの質量比は 16:1 として扱う). また, 沈殿したグルテニンを取り出し, 表面の水分をある程度拭き取った後に, ガラス棒で押すと元の形に戻ろうとする弾性が見られ, グルテニンの可塑性・弾性が確認された. そして, エタノールを用いて分離させたグリアジンを, 薬さじですくったところ, グルテニンとは違って元の形に戻ろうとする様子はなく, 熱で溶けたチーズのようによく伸びたことから, 伸展性が確認された. また, サランラップに強く張り付いて離れず, 強力な粘性が確認された.

3-2. 実験②の結果

何も手を加えていない生地は、1 cm 程度伸びたのに対し、組成を変えた生地は全く伸ばすことができなかった。

3-3. 実験③の結果

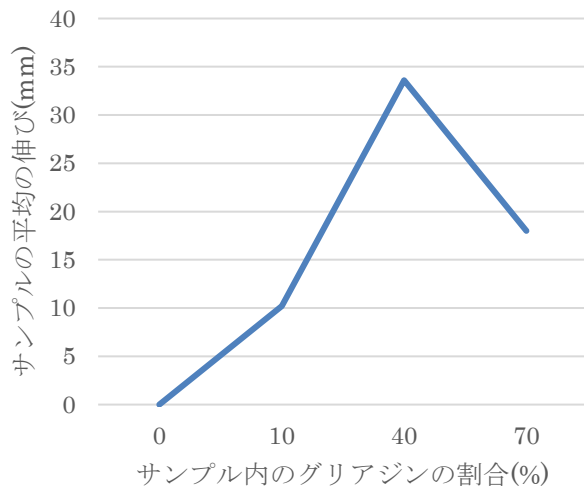


図3 サンプル内のグリアジンの割合と伸び

サンプルの平均の伸びを記録した結果を図3に示した。Aは実験を行う前に形状を保てなかったため、サンプルの伸びは0 mmとした。グラフより、サンプルCの伸びが最も大きく、さらにグリアジンの割合を減らしたサンプルDでは伸びが小さくなったことが分かった。

4. 考察

4-1. 実験①の考察

まず、二つの物質間に性質上大きな違いが観察されたことから、これらは正確に分離されていると考えられる。また、グリアジンはグルテニンと比べて粘性を示していたことから、パン生地に粘り気をもたせよく伸びるようにする、柔軟性を与えるものだと考えられる。しかし、グリアジンは弾性をほとんどもたなかったため、パン生地に多く含ませすぎると、生地がまとまっている状態を維持することができず、目標とする「よく伸びるパン生地」を作成することはできないと予想される。また、グルテニンはパン生地のまとまりを補強する役割を担っていると考えられる。

4-2. 実験②の考察

生地内の粘性を担うグリアジンを本来の量より多くしすぎた結果、生地まとまりがより強くなったので、元の生地と比べて伸びなくなったのだと考えられる。しかし、グリアジンが多くなると生地が伸びなくなることは、まだデータが少なく断定できないので、細かく数値を設定して実験を進める必要がある。

4-3. 実験③の考察

Aが全く伸びず、形状を保てなかったのは、グルテニンとグリアジン間のジスルフィド結合が再生成されることがなく生地のまとまりが生み出されていなかったからだと考えられる。また、B、Cと長く伸びるようになっていったが、DではCと比較して伸びが短くなった理由として、Cまではジスルフィド結合が生地をまとめる役割としての機能を果たすだけで、生地が伸びることには影響していなかったが、Dではそのジスルフィド結合が多くなりすぎたため、結合が頑強なものとなり、生地に伸びる余裕がなくなったからだと考えられる。このことから、実験②での考察は正しかったと言える。図2のように、ジスルフィド結合はタンパク質同士を結びつける役割をしており、結合した状態を保つために、この結合はある程度必要であるが、ジスルフィド結合が多くなりすぎるとタンパク質が柔軟に動くことができなくなり、伸展性を失うと考えられる。

5. まとめと今後の課題

今回の実験では、同じ生地でも伸ばし方によって伸びる長さが大きく左右されてしまい、結果が人的要因に影響された。実験③で操作をした3回の中で、結果に差があまり生じないことが理想的である。そのため、生地を支えるものは人の手ではなく、動かない棒にしたり、生地を引っ張るものはおもりを使うなど、人的影響の影響を受けない装置を作成する必要がある。そして、均一な生地にするために、混ぜ合わせる回数を多くしたり、生地によって混ぜる回数に違いが出ないように気をつけるようにするべきである。

また、データの少なさも本実験の課題である。こ

の主な原因は、小麦粉から抽出できるグルテンの量がそもそも少量であり、グルテニンに比べてグリアジンがほとんど抽出できなかったことや、グルテンからグリアジン・グルテニンを抽出する過程で多くの素材が失われたことである。そのため、まず第一に、ボウルや 500 mL ビーカーなど小さな器具で素材を用意するのではなく、一度に実験に使う小麦粉の量を 5 kg 程度まで増やしたり、大きな段ボール箱にサランラップなどを敷いてボウルの代わりになる大きな道具を作るなどして、大規模な実験を行うことが大切であると言える。そして、これと同時に抽出の質を高める必要もある。その方法として、実験①で塩析操作を行ったが、その上澄みにもさらに塩析を起こすことでグリアジンの量を増やすことや、器具にこびりついた素材を全て利用するように気をつけるなど、初歩的なことから始められるだろう。

データが少ないことや、実験方法が人的要因に左右されるものであったため、グリアジンとグルテニンの組成比と生地の伸展性の関係について断言することはできないが、グリアジンの量がある程度のところまでは伸展性が高まり、その点を超えると伸展性を失っていくと予想できる。実験方法を修正していき、規則性を明らかにできるようにしていきたい。

7. 参考文献

1) 小麦タンパク, 遠藤悦男

https://www.jstage.jst.go.jp/article/cookeryscience1968/18/1/18_38/_pdf/-char/ja/2024.11

2) 一般財団法人 製粉振興会, 小麦粉の化学

<https://www.seifun.or.jp/pages/120/>, 2024.10

3) Sukh Bassi Clodualdo C,

Maningat Rangaswam,

Chinnaswamy Darren R. Gray Li Nie,

2016.07.01, グルテン生地のグリアジンおよびグルテニンへの無アルコール湿式抽出,

<https://patents.google.com/patent/JP2954542B2/ja>, 2024.10

4) 長尾精一, 小麦粉の知識

https://www.jstage.jst.go.jp/article/cookeryscience1968/22/2/22_125/_pdf, 2024.10

プラントベースアイスの開発と評価

高橋知沙 田畑日奈子 西出真子 淵田真央

要旨

豆乳、ライスマイルク、アーモンドミルク、オーツミルク、グラニュー糖、メープルシュガー、寒天、米粉、キャノーラ油を用いて 6 種類のプラントベースアイスを作り、粘度、固さ、溶ける時間、糖度、水分量の 5 つの観点で計測し、牛乳を使用したアイスクリームの測定値との差を比較した。私達は粘性のある材料の方が溶けにくい、また、寒天の融点が高いため、寒天を用いたアイスクリームは溶けにくいという仮説を立てた。実験の結果、粘度と溶ける時間、固さと水分量の間に正の相関関係を見出した。

1. はじめに

プラントベース食品の開発は、健康面への配慮、環境負荷の軽減、「タンパク質危機」をはじめとする食糧問題の解決につながる上、アレルギーを持つ人々やヴィーガンにとっての食の選択肢を上げられる¹⁾。

このような利点をふまえ、近年、プラントベース食品が注目されている。例えば、ハーゲンダッツ ジャパン株式会社では、“植物性ミルクアイス” シリーズとして豆乳に着目した「ハーゲンダッツ GREEN CRAFT 豆乳チョコレート&マカデミア」などを販売している。²⁾

先行研究の中で、アイスクリームでの植物性食品への置き換えに関する研究例は見られた³⁾が、材料の異なる複数のアイスクリームについてその性質を比較する研究は見られなかった。

これらの事から、本研究は 6 種類のプラントベースアイスクリームを比較することで、家庭で実践可能で、かつ、牛乳を使用した商品と同様に受け入れられるアイスクリームを開発することを目的とした。

本研究では、以下の仮説を設定した。

- (1) 粘性のある材料を使用したアイスクリームの方が溶けにくい。
- (2) 寒天の融点が高いため⁴⁾、寒天を加えたア

イスクリームも融点が上昇し溶けにくい。

- (3) 表 1 より、5 種のミルクのうち、豆乳と牛乳の栄養成分が最も近く、豆乳を使用したアイスクリームが牛乳を使用したアイスクリームに最も近い状態で置き換えられる。

表 1 5 種のミルクの成分表(250mL あたり)⁵⁾

	エネルギー	炭水化物	糖質	食物繊維	タンパク質	脂質	コレステロール
牛乳	153kcal	12.0g	12.0g	0g	8.3g	9.5g	30mg
豆乳	110kcal	7.8g	7.3g	0.5g	9.0g	5.0g	0mg
ライスマイルク	118kcal	23g	22.3g	0.8g	0.8g	2.4g	0mg
オーツミルク	105kcal	20.7g	17.9g	2.8g	4.1g	1.7g	0mg
アーモンドミルク	49kcal	4.9g	1.1g	3.8g	1.3g	3.6g	0mg

2. 材料 2-1. 研究試料

牛乳、豆乳、ライスマイルク、アーモンドミルク、オーツミルク、米粉、寒天、グラニュー糖、メープルシュガー、キャノーラ油、

＜実験器具＞

ウォーターバス、加熱乾燥式水分計(AND 社、MX-50)、温度計、ガスバーナー、デジタルカゲージ(Mxmoonfree, HP-500)、手持屈折糖度計、ガラス棒、漏斗、メスシリンダー

表2 試料と材料の組み合わせ

試料	ミルク	糖	増粘剤	油
X	牛乳 125ml	グラニュー糖 20.0g	卵 11.1g	
A	豆乳 125ml	グラニュー糖 16.6g	米粉 2.08g	植物油 0.800g
B	豆乳 125ml	グラニュー糖 16.6g	寒天 0.400g	植物油 0.800g
C1	豆乳 125ml	メープルシュガー16.6g	米粉 2.08g	植物油 0.800g
C2	豆乳 125ml	メープルシュガー10.0g	米粉 2.08g	植物油 0.800g
C3	豆乳 125ml	メープルシュガー5.00g	米粉 2.08g	植物油 0.800g
D	ライスマイルク 125ml	グラニュー糖 16.6g	米粉 2.08g	植物油 0.800g
E	アーモンドミルク 125ml	グラニュー糖 16.6g	米粉 2.08g	植物油 0.800g
F	オーツミルク 125ml	グラニュー糖 16.6g	米粉 2.08g	植物油 0.800g

2-2. 研究方法

6種類のレシピでアイスを作った(表2)。豆乳、米粉、グラニュー糖、キャノーラ油を用いたレシピを基本レシピ A とし、米粉を寒天に変えたレシピを B、グラニュー糖をメープルシュガーに変えたレシピを C、豆乳をライスマイルクに変えたレシピを D、豆乳をアーモンドミルクに変えたレシピを E、豆乳をオーツミルクに変えたレシピを F とした。アイスを作った後、粘度・固さ・溶ける時間を以下の方法で調べた。

＜実験1＞粘度

粘度は、大きじ1杯のアイス液が漏斗を完全に通り抜けるのににかかった時間を6回×2セット行い計12回計測し、平均の時間を出した(C2、C3 は1セット(6回)のみ)。

＜実験2＞固さ

固さはデジタル力ゲージを使って、50N の力を加え、5mm 沈むのにかかる時間を 1 回につき 3 個のスクリー管で計 6 回計測した。(図1)

＜実験3＞溶ける時間

溶ける時間はあらかじめアイス液の入ったスクリー管に、赤い棒を入れて冷やしアイスを作った。40℃の水を入れたウォーターバスの中に赤い棒の先端が上面になるようにアスを沈めて、赤い棒が見えるまでの時間を、上限を 10 分として 6 回(牛乳のみ 9 回)計測した。(図2)

＜実験4＞水分量

水分量は固さを計測した後、アイス液を、加熱乾燥式水分計を使って1種類のアイス液につき一回測定した。

＜実験5＞糖度

糖度はアイス液を作った後、2つの手持屈折糖度計を使って糖度を複数回計測した。

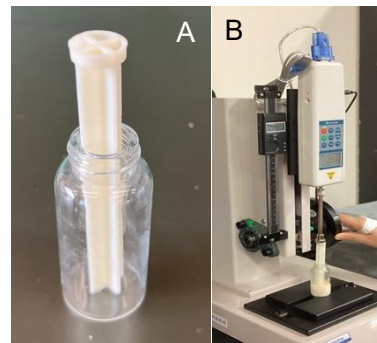


図1 固さ測定

A : アイスに力を加える補助具とスクリー管
B : アイスに補助具を入れてゲージで測定した

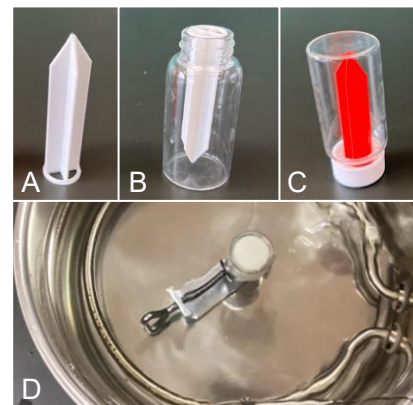


図2 溶ける時間測定

A ~ C : スクリュー管に入れた棒
(A と B は白の同じ形状のもの)
D : ウォーターバスに入れた様子

3. 結果

3-1. 粘度

大きじ1杯のアイス液が通り抜けるのににかかった平均時間は C2 が 62.3 秒で最も長く、2番目に長

い C3 と 35.0 秒もの差があった(図3). 最も短かったのは D の 1.84 秒で, C2 と D では 60.5 秒もの差があった. B は X の平均値 17.2 秒に最も近い値を示した.

また, C, E, F のアイスの粒子の様子を顕微鏡で観察した(図4). C は粒子がかたまりになって動かず, E では粒子に流動性が確認できた. F では特に大きな粒子は確認できなかった.

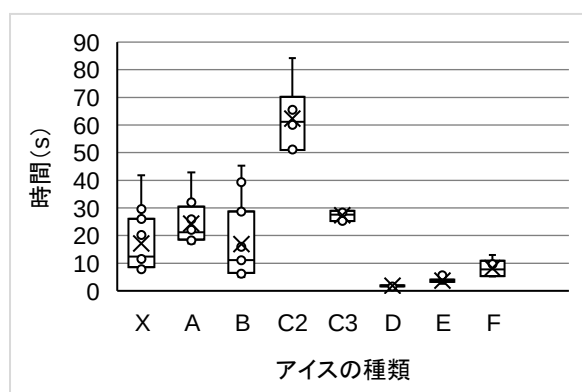


図3 アイスの種類と粘度

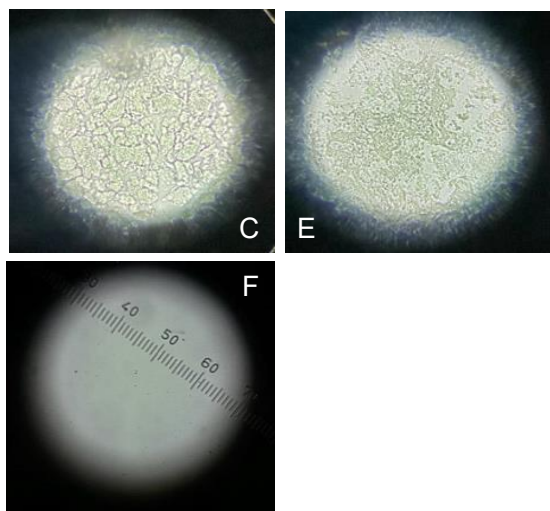


図4 顕微鏡で観察したアイス液

3-2. 固さ

固さの平均時間は C3 が 600 秒で最も長く, D が 157 秒で最も短かった(図5). X と比べて最も平均時間が近かったものは D であった.

3-3. 溶ける時間

スクリー管内の印が見えるまでにかかった平

均時間は C2 が 307 秒で最も長く, D が 69 秒で最も短かった. X と比べて最も平均時間が近かったものは A だった.

C2 と C3 の比較から, メープルシュガーの量が多いほど溶けるのに時間がかかったと言える. (図6) B と C1 は 10 分を超えても印が見えなかったため, 測定不可とした.

3-4. 水分量

水分量の平均値は E が 75.28% で最も大きく, D が 66.11% で最も小さかった. (表3) X と比べて最も平均時間が近かったものは D であった.

3-5. 糖度

糖度の平均値は C1, D が 32% で最も高く, C3 が 21.5% で最も低かった. X と比べて最も平均時間が近かったものは A だった.

C1, C2, C3 の比較から, メープルシュガーの量が少ないほど糖度は低かったと言える.

使用した糖度計の上限値 32% を超えたものは 32 とした.

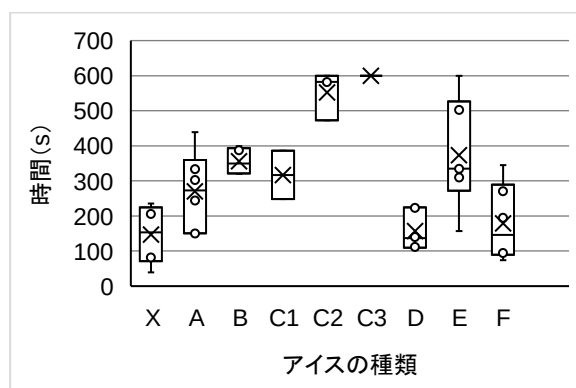


図5 アイスの種類と固さ

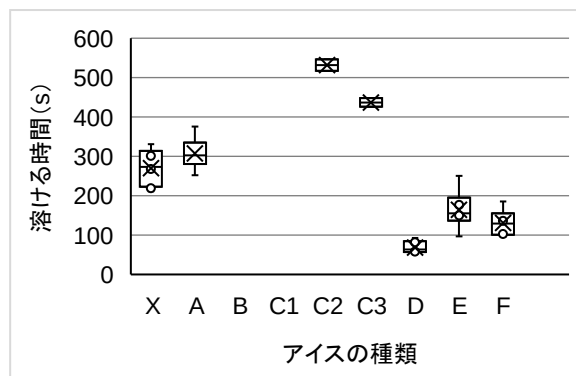


図6 アイスの種類と溶ける時間

表3 アイスの種類と水分量・糖度の平均値

種類	水分量(%)	糖度(%)
X	65.98	31.6
A	70.13	31.3
B	—	29
C1	67.87	32
C2	—	25.5
C3	—	21.5
D	66.11	32
E	75.28	27.7
F	68.09	30.7

4. 考察

溶ける時間、粘度、固さ、水分量の中から任意の2観点を取り出し、グラフ化すると、溶ける時間と粘度、固さと水分量、固さと溶ける時間に正の相関関係が見られた。(図7, 8, 9, 10, 11)

このことから、仮説(1)は正しかったと考えられる。仮説(2)は、結果としては予想通りであったが、その原因が融点にあるかは判断できなかった。

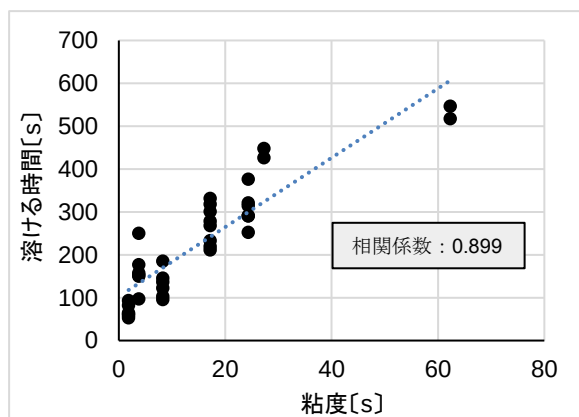


図7 溶ける時間と粘度

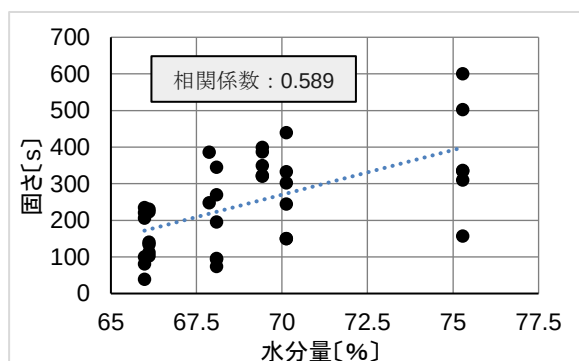


図8 固さと水分量

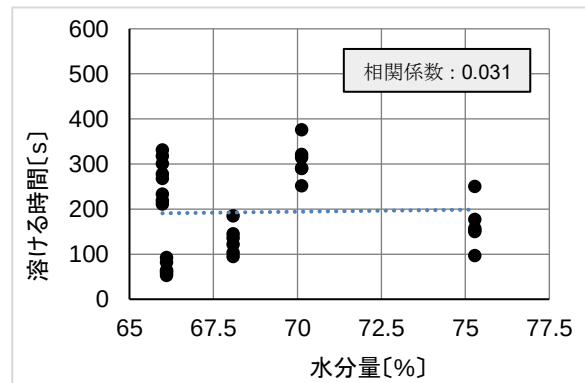


図9 溶ける時間と水分量

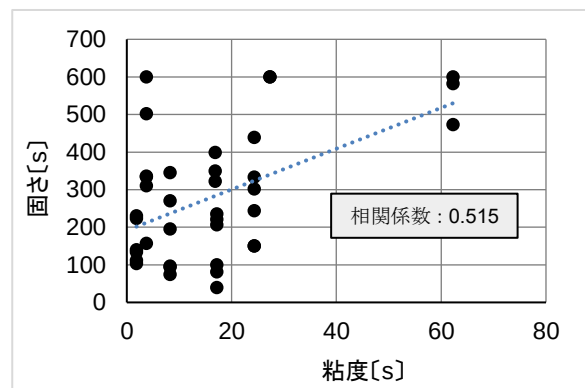


図10 固さと粘度

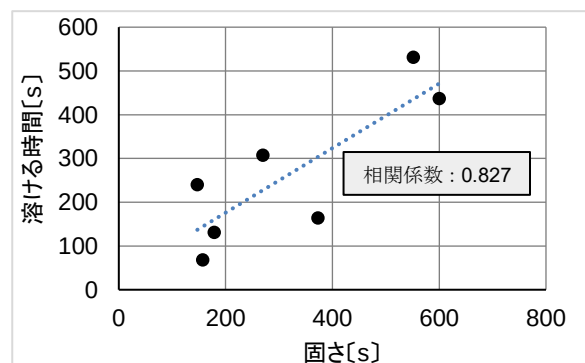


図11 溶ける時間と固さ

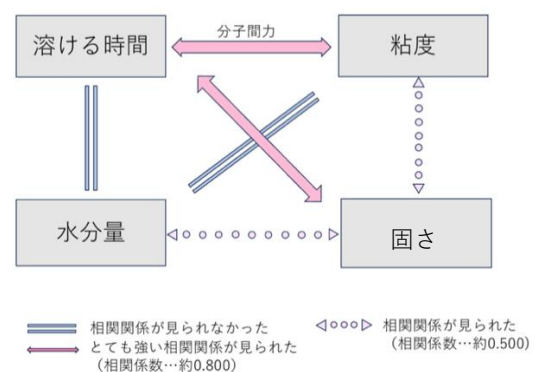


図12 各要素の相関

また、仮説(3)は豆乳を使用したプラントベースアイスは、牛乳を使用したアイスクリームに近いこともあればそうでない場合もあったことから、ミルクの栄養成分のみがアイスの物性に影響するわけではないと考えられる。

4-1. 溶ける時間と粘度

溶ける時間と粘度の間に強い正の相関が見られた。粘度は、水の水素結合に加えて、溶媒に溶かした溶質同士、または溶媒と溶質の間に生じる分子間力や分子間相互作用によると考えられ、溶ける、すなわち分子同士が離れることにも影響を及ぼしているのではないかと考えられる。

また、実験を行う中で、実験を行った時期が寒くなるほど、アイス液が漏斗を通り抜けるのにかかる時間が長くなり、粘度が増したことに気づいた。調べてみると、一般的に液体の温度が低いほど粘性は増す⁶⁾ことがわかった。実験を行う際のアイス液、および、ろうとの温度はそろえていなかったため、粘度の測定結果に影響した可能性がある。しかし、図4の相関関係をみるとその影響はそこまで大きくはないと考える。

今回は増粘剤として、多糖類である米粉および寒天を使用した。メープルシュガーの量も粘度に影響を与えていた。メープルシュガーには、粘度を高くする物質が含まれていると考えられる。

4-2. 固さと水分量

図8より、アイスの固さとアイスが含む水分量には正の相関が見られる。このことから、より多くの水分を含むほど固く、アイスを取るときに力を要すると考えられる。

これについて、水素結合はファンデルワールス力よりも強い結合であるので、水分量が多いほど水素結合の強さがアイスクリーム全体の硬さにより影響を与えているのではないかと考えられる。また、一般的に、水分は、「増粘材」、「乳化剤」などの添加物を使用しなければ、硬い氷のようになってしまい、なめらかな触感が失われてしまうという

ことがわかっている⁷⁾。このことから、水分の割合が多い、すなわち他のアイスクリームに柔らかさをもたらす要素の割合が少なくなることで固くなる可能性があるのではないかと考えられる。

5. まとめと今後の課題

本実験から、アイスクリームの性質として、溶ける時間と粘度、および、硬さと水分量の間には正の相関関係があり、その原因はアイス液中の溶媒、および溶質の分子間力や分子間相互作用が関係していると考えられる。

また、本実験から、X(牛乳を使用したアイスクリーム)に近いのは、5観点中3観点でXの数値に近かったA(豆乳を使用したアイスクリーム)とD(ライスマルクを用いたアイスクリーム)だと考えられる。

しかし、実験期間にメンバー4人でX以外に対する官能評価を行ったところ、豆乳の独特な香りの強さ、メープルシュガーの風味の強さなどについて評価が分かれたため、味覚の観点を含めて牛乳を使用したアイスクリームとの比較をする必要があると考えた。そのためには、官能評価の方法について、4人ではデータが少なすぎるため大人数を対象とする調査によってより一般的な結果を得たい。そこから、材料の量や調理法を調整することで、牛乳を使用したアイスクリームにより近づくレシピを模索したい。

また、アイス液を冷やしていくときの温度と各観点の関係性を調べることで、分子間力や状態変化などとアイスクリームの性質との関係についての考察を深められると考える。

6. 参考文献

1) MIYOSHI MIRAI PLATFOEM 2022.06.27
プラントベースフードの企画開発 5つのメリット&デメリット

<https://mmp.miyoshi-yushi.co.jp/next-food-lab-post/5-benefits-plant-based-foods/>

2) Haagen-Dazs 2023.05.11 ハーゲンダッツ
GREEN CRAFT(グリーン クラフト)ミニカップ

『豆乳バニラ』『豆乳チョコレート&マカデミア』
<https://www.haagen-dazs.co.jp/company/newsrelease/2023/0511.html>

3) 阿相 優香, 山形 純子, 松本 美鈴
植物性ミルクがカスタードプディングの物性と嗜好性に及ぼす影響 日本調理科学会誌 54 巻 (2021) 1 号

4) Cake.jp. 2023.2.3 溶けないアイスの仕組みって？
<https://cake.jp/mag/icecream/27073/#:~:text>

5) Earth MILK 編集部, 2024.1.18
ライスマルクの美味しい飲み方は？
<https://earth-milk.net/blogs/column/rice-milk-how-to-drink?srsltid=AfmBOoqAY14TPQ5xlZMDi4wVNRiSp3HZuK5i65Vif0hTThIXTxo1sUNy>

6) 液体の温度と粘度の関係
<https://www.mohno-dispenser.jp/compass/compass03.html>

7) むそう商事
<https://www.muso-intl.co.jp/mine.php>

ワセリンの混合やアセタール化によるにんじんフィルムの撥水化について

～にんじんフィルムを撥水させるには～

加藤来海 大黒莉央 山室万悠子

要旨

本研究は、撥水性があり様々な用途に利用できるにんじんフィルムを作成することを目的とする。セルロースのアセタール化や、ペースト上にしたにんじんにワセリンを塗ることで撥水性を高めることができるという仮説のもと実験を行った。にんじんフィルムを作る過程でワセリンを混合した場合に、数秒でフィルムの形が崩れたものの、既成のハンバーガーの包み紙と同程度の撥水性を数秒間持つフィルムが生成された。

1. はじめに

先行研究として、にんじんフィルムの生成と強度に関する実験がある¹⁾。この実験で作られたにんじんフィルム（7. 添付資料 図1）は水とにんじんのみから作られている上に、廃棄野菜や売り物とならない野菜を使用することで環境問題に対応することができる。そのため、このフィルムを作成することによって廃棄野菜の量が減り、環境にやさしいと言える。しかし、このフィルムには撥水性がない。にんじんフィルムを広い用途で役立てるには撥水性の付与が必要だと考えた。

にんじんフィルムを作る際に、ワセリンなどの撥水性を持つものを混合することで撥水性を付与できるのではないかと考えた。セルロースは親水基であるヒドロキシ基を豊富に持つため、水にぬれると水分を吸収してしまう。よってにんじんフィルムに撥水性を持たせるには何らかの加工が必要になると考えた。

アセタール化とは親水基であるヒドロキシ基を、ホルムアルデヒドを用いることで、親水基の数を減らすものである。アセタール化の例としてアセチレンに酢酸を付加した酢酸ビニルを付加重合して得られるポリ酢酸ビニルが、ポリビニルアルコールを経て、吸水性を落とし

たビニロンという合成繊維に変えるものがある（図2）。

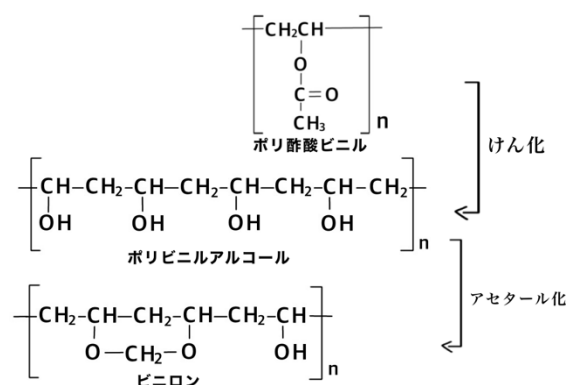


図2. アセタール化

単結合が回転可能なことにより、にんじんに含まれるセルロース（図3）のヒドロキシ基の距離は変化するが、アセタール化の例として有名なポリビニルアルコール（図2）のヒドロキシ基どうしの距離とセルロースのヒドロキシ基どうしの距離が近い値をとるので、セルロースもポリ酢酸ビニルと同様にアセタール化をすることで親水基を減らす事ができ、撥水性を付与できる（図4）と考えた。

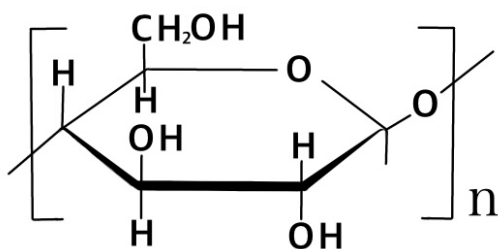


図 3. セルロース

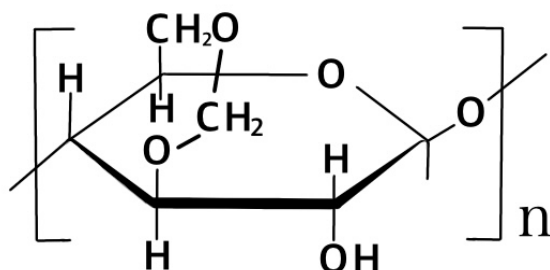


図 4. セルロースをアセタール化したものの構造式の予想

2. 材料・研究方法

2-1. 材料

・にんじんフィルム作成

にんじん, 水

・実験 1

にんじんフィルム, 既成のハンバーガーの包み紙, 土(学校の花壇のもの)

・実験 2

にんじんフィルム, 水酸化ナトリウム(粒状), 6 mol/L 塩酸, 37%ホルムアルデヒド溶液

・実験 3

にんじんフィルム, 水, 寒天

・実験 4, 5

にんじんフィルム, 水, ワセリン

2-2. 研究方法

2-2-1. にんじんフィルムの土による分解性

にんじんフィルムが既成のハンバーガーの包み紙よりも土によって分解されやすいということを確かめるために, にんじんフィルムと従来のフィルムの土での分解のされやすさについて比較実験をした。茹でて潰したにんじん 46.2 g と水 92.4 g (質

量比 1:2) を取り, ミキサーで 30 秒混ぜた。次にガーゼを使ってミキサーでそれを絞って, 搾り汁と搾りかすに分けた。次に搾り汁と搾りかすをそれぞれ 101.9 g, 14.6 g (質量比 7:1) 取り, ビーカーに入れてガラス棒で混ぜた。混ぜたものを以下, にんじんフィルムの素と表記をする。アルミホイルに養生テープを貼り, 枠を作ったものに乗せ, ホットプレートを使って 140℃で熱した。絞り汁と搾りかすで作ったにんじんフィルムと搾りかすで作ったにんじんフィルムと既成のハンバーガーの包み紙を土が入っているビーカーの中に 40 日間埋めた。以下の実験ではにんじんフィルムを作る際に, ホットプレートで熱する前ににんじんフィルムの素をガスバーナーで加熱して質量を 4 分の 1 に減らし, にんじんフィルムを作った。

2-2-2. アセタール化による撥水性の実験²⁾

30 g のにんじんフィルムを 30 mL の水と混ぜ, 攪拌した物を吸引濾過し, 室温で 1 週間放置し自然乾燥させた。そこに熱湯 30 mL, 6 mol/L 塩酸 5 mL, 37%ホルムアルデヒド 15 mL を加え, ビーカーにアルミホイルで蓋をして湯煎で 90℃に保った。それを 2 つに分け, 1 つは何も操作を加えていないにんじんフィルムの上に, もう 1 つはアルミホイルの上に広げ, 室温で 1 週間自然乾燥させた。

2-2-3. 寒天を用いた撥水性の実験

寒天を使用したゼリーは水を通さないことから, にんじんフィルムを作成する際に寒天を混合することで水が染み込まないにんじんフィルムを作成できるのではないかと考えた。そこで, にんじんフィルムの素 20 g に寒天 0.035 g を加えたものを用いて, にんじんフィルムを作成した。

2-2-4. ワセリンを用いた撥水性の実験

にんじんフィルムの素 20 g にワセリン 2.5 g を加え, にんじんフィルムを作った。ただし, ホットプレートで熱する前に 2 等分し, 1 つはホットプレ

トで 140℃で熱しフィルムを作成した。これを生成物 1 とする。もう 1 つは熱する過程を省き、アルミホイルに乗せて室温で 1 週間自然乾燥させた。これを生成物 2 とする。

2-2-5. ワセリンを染み込ませる実験

にんじんフィルムの素 20 g からフィルムを作成し、バーナーで熱して液体化させたワセリンに、フィルムの全体がワセリンに接するように浸した。ワセリンを液体状に保ちながら、7 分間ワセリンを染み込ませた。それを室温で 1 週間自然乾燥させた。

3. 結果

3-1. にんじんフィルムの土による分解性を調べる実験

結果を図 5 に示す。

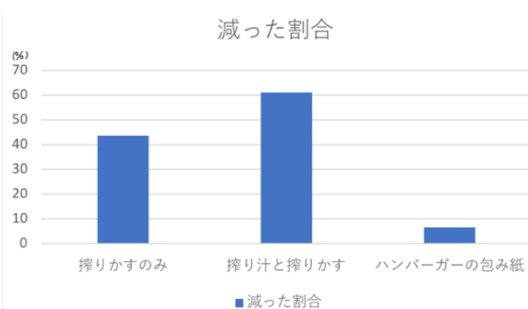


図 5. 埋めた後に減少した質量

それぞれの土に埋める前と比べた、埋めた後の質量の減少割合を示す。

揉りかすのみで作ったにんじんフィルムが、埋める前の質量と比べて 43.5%の減少。揉り汁と揉りかすの質量比が 7:1 のにんじんフィルムは 61.1%の減少。既成のハンバーガーの包み紙が 6.5%の減少であった。

3-2. アセタール化による撥水性の実験

加熱中に固まったりすることなく、常に液体状のままであった(7. 添付資料 図 6)。乾かした生成物の見た目は通常のにんじんフィルムと変わらなかった。おそらく塩酸を使用したことが原因だと

考えられるが、アルミホイルが一部溶けていた。ピペットで生成物に水を 1 滴垂らし様子を観察したが、にんじんフィルムの上で乾燥させたものもアルミホイルの上で乾燥させたものも、水を垂らしてすぐに両方とも水が染み込み、撥水性は確認できなかった。

3-3. 寒天を用いた撥水性の実験

実験 2 と同様、乾かした生成物に水を 1 滴垂らした。こちらも水を垂らしてすぐに水が染み込み、撥水性は確認できなかった。

3-4. ワセリンを用いた撥水性の実験

触り心地は、生成物 1 は従来のにんじんフィルムと比べつつるっており、生成物 2 はべたべたしていた。生成物 1,2 両方とも、水滴を垂らすと水滴とフィルムの面の接触角が 90° 程度となり(図 7)、撥水性は確認できたが、30 秒程度経ち端から徐々に水が回りこみ、裏面も濡れた状態になると、水が染み込んだ。

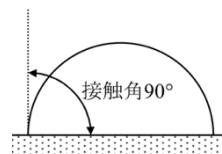


図 7. 水滴と面の接触角

参考文献³⁾より引用した。

図は接触角 90° の場合を示す。

予備実験でも用いた既成のハンバーガーの包み紙にも水滴を垂らすと、生成物 1,2 と同様の結果となった。水を染み込ませた生成物 1,2、包み紙にガラス棒で刺激を与えると、生成物 1,2 は形が崩れればらばらになったが、包み紙はその形を保っていた。

3-5. ワセリンを染み込ませる実験

生成物の手触りを確認したところ、通常のにんじんフィルムよりも固かった。水滴を垂らすと実験 4 の生成物と同様、フィルムの面との接触角が 90° 程度となり、こちらも撥水性を確認することが

できた。しかし、実験 4 と同様、30 秒程度経つと裏面にも水が回り水が染み込み、刺激を与えると形が崩れた。

4. 考察

実験 1 の結果より、にんじんフィルムは既成のハンバーガーの包み紙より埋めた後に減少した質量の割合が大きいことから、土による分解のされやすさが既成のハンバーガーの包み紙よりも高いと考えられる。そのため、将来的に同じ作り方・同じ材料で作ったにんじんフィルムを既成のハンバーガーの包み紙等に使用した場合、もし地面に捨てられたとしても分解がより早く、分解量が多くなるので従来の包み紙よりも環境にやさしいと考えられる。にんじんの絞り汁と搾りかすで作られたにんじんフィルムが、搾りかすで作ったにんじんフィルムよりも分解された割合が多かったのは、搾り汁を加えることで搾りかすの繊維同士の結合の力が弱まり、分解されやすくなったためだと考えられる。

実験 2 の結果より、にんじんフィルムをアセタール化することにより撥水性を得ることはできなかった。原因として、にんじんフィルムは水に溶けないため水と完全に攪拌することができなかった点と、ポリビニルアルコールとにんじんの主成分であるセルロースの構造の違いがあると考えられる。具体的には、単結合が回転可能なことにより、セルロースのヒドロキシ基間の距離がポリビニルアルコールのヒドロキシ基間の距離と等しい距離になる時もあるが、それより近くなる時も遠くなる時もあり、固定されていないことが考えられる。

実験 3 の結果より、フィルム生成時に寒天を加えることで撥水性を得ることはできなかった。寒天を用いたゼリーは水を通さないことから、寒天を混ぜたフィルムを作ることで水に強いにんじんフィルムを作成できるという仮説のもとで実験を行ったが、寒天は疎水性ではないためににんじんフィルムに水が染み込むのを防げなかったと考えられる。

また、寒天を用いたゼリーとの違いは、にんじんフィルムを作る際に、寒天を混ぜたにんじんフィルムをホットプレートで熱して水分を飛ばしたことで、固めるのに必要な水の量が減ったからだと考えられる。

実験 4、実験 5 の結果より、ワセリンを加えることでにんじんフィルムに撥水性を持たせることはできたが、撥水性は一時的なものであった。裏面にも水が回り込むと水が染み込むのは既製の紙と同様だが、刺激を与えた時に崩れるのは既成の紙より耐水性が低いといえる。ワセリンを加えることでにんじんフィルムに撥水性が生まれたが、にんじんフィルムが水で分解される性質は残ったままであると考えられ、これはワセリンがにんじんフィルムの素に完全に浸透していなかった可能性がある。

また、実験 4 では、にんじんフィルムの素にワセリンを混合して室温で自然乾燥させた生成物 2 の表面はべたべたしたのに対し、ワセリンを混合しホットプレートで熱して作成した生成物 1 はべたつきが少なかったことから、フィルムを急速に乾燥させるかゆっくり自然に乾燥させるかによってフィルムのべたつきの程度が変化すると考えられる。よって、液体状のにんじんフィルムの素とワセリンの混合物に熱を加えて素早くフィルム状にすることで、べたつきを抑えられると考えられる。

5. まとめと今後の課題

ワセリンをにんじんフィルムを作る過程で追加すると多少の撥水性が得られることがわかった。しかし、その撥水性は一時的なものであり、暫くすると水でフィルムの形が崩れた。そこで、撥水性の付与の為に出来る手段として、アルキル化やエステル化などが提案されたが、そもそもそれらの実験が難しいという事で、それらの実験は断念した為、撥水性を持たせる手段として他の方法を考える必要がある。また、耐水性の問題に加えて、表面がべたべたすることが現在の課題であるので、ワセリンをにんじんフィルムに混合する方法を見直し、ワセリンの割合と耐水性・表面の質感との関

係を調べる必要がある。具体的には、混合するワセリンの量を変えてべたつきの少なさと撥水性の強さの変化の仕方を調べることで、ホットプレートで熱する際により高温で熱し、フィルムの固まる時間を短くすることが挙げられる。

6. 参考文献

- 1) 瀬川七海・田中杏奈・中馬千陽・久森優心, 2021, 野菜製フィルムの生成と強度に関する研究. 令和3年度研究活動報告集, 17
- 2) 福山紅陽, 2008.10.1, 撥水性の評価法, https://www.jstage.jst.go.jp/article/sfj/60/1/60_1_21/_pdf , 2024.6.4
- 3) 愛知県総合教育センター, ビニロンの合成, <https://apec.aichi-c.ed.jp/kyouka/rika/kagaku/2018/koubunshi/biniron/biniron.html> , 2024.9.12

7. 添付資料



図 1. にんじんフィルム



図 6. 液体のままのにんじんフィルム

炎色反応の波長とその強度

～エネルギーの観点から炎色反応を分析する～

宗敦己 永山涼太郎 東良壮裕 藤本陸久

要旨

炎色反応の実験では、一般的に、白金線の先に試料をつけ、ガスバーナーの外炎に入れて炎の色を確認する。その方法で予備実験を行ったところ、反応の持続時間が短く、波長などのデータを正確にとることが難しかった。そこで私たちは、炎色反応を安定させるための専用土台を自作し、金属塩の水溶液にエタノールを加えて燃焼させることで反応を安定させて持続時間を延ばし、ワイヤレススペクトロメーターで正確に波長を計測することを目指した。その結果、それぞれの試料において、他の波長と比べて明らかに強度の高い波長のデータが得られた。

1. はじめに

炎色反応とは、1 族と 2 族の金属元素においてよく見られる現象の 1 つである。炎の中に金属イオンを入れると、図 1 のように、熱エネルギーを得て原子化し、さらに熱エネルギーによって電子が高エネルギーの電子軌道に移動して励起状態になる。その電子が安定な基底状態に戻ろうとする際に電磁波として放出する余分なエネルギーが人間の可視光の範囲(約 380nm～780nm)に入ると、炎色反応を起こすとされている¹⁾²⁾³⁾。

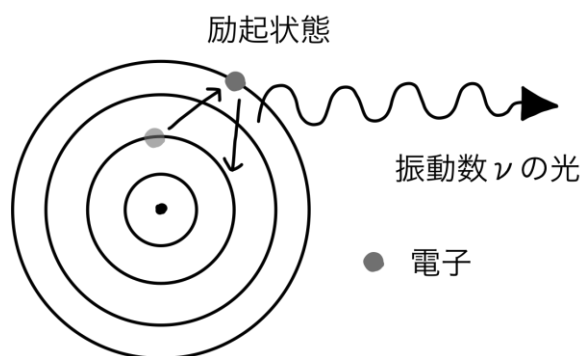


図 1 炎色反応の原理

元素によってこのエネルギーは固有のため、それぞれに特有の光の色が見られる。エネルギーと光の関係は $E = h\nu = hc/\lambda$ (E :エネルギー差, h :

プランク定数, ν :光の振動数, c :光の速度, λ :光の波長)と表せる。これをアインシュタインの関係式という。⁴⁾

白金線を用いた予備実験では、安定した持続的な炎を得ることが難しかったため、波長のデータをとることも困難だった。短い波長の光を出すカリウム塩などは、特にデータをとるのが困難だった。

そこで私たちは、炎を安定させて持続時間を延ばし、得られたデータを既知のデータ⁵⁾と比較しつつ、「波長の短い光の色の炎色反応ほど、反応に要するエネルギーが大きいので炎色反応を起こしにくく、発光強度が小さくなる」という仮説を立て、様々な金属塩の炎色反応の炎の波長と強度の測定を行った。

2. 研究資料

- ・硝酸リチウム
- ・硝酸カリウム
- ・硝酸ナトリウム
- ・硝酸セシウム
- ・硝酸ストロンチウム
- ・硝酸銅
- ・純水
- ・エタノール

- ・ピペット
- ・ビーカー
- ・ガラス棒
- ・薬さじ
- ・薬包紙
- ・電子天秤
- ・アルミカップ
- ・自作土台*
- ・ワイヤレススペクトロメーター (Go Direct® SpectroVis Plus 分光光度計)
- ・ライター
- ・iPad

*「自作土台」は、3D プリンターを使用して作った型(写真 L)を用いて粘土(ヤコのオープン陶土工作用)を成型し、180 度、1 時間で焼成した。(写真 K)

3. 研究方法・結果

[1] 1 種類の金属イオンでの計測

- ① 上記の金属塩のうち 1 つを、純水 0.5ml に飽和⁶⁾になるように電子天秤で測りとった。
- ② 土台にセットしておいたアルミカップ内で純水 0.5ml に溶かした。飽和にするのは反応をわかりやすくするためである。
- ③ アルミカップにエタノール 4.0ml を加えた。
- ④ ワイヤレススペクトロメーターを iPad に接続し、混合物を燃やして波長のデータをとった。

結果は以下の通りである。グラフの横軸は波長、縦軸は強度(範囲が 0~1 の相対尺度)⁷⁾を表している。また、図 12 に、各元素の炎色反応の様子を収めたものを示した。

〈結果〉

(1) 硝酸ナトリウム(図2)

水 0.5mL に 0.461g 溶解させた。(10.8mol/L)

589nm の波長の強度が高いが、他の物質と比べると比較的強度は低い。

(2) 硝酸リチウム(図3)

水 0.5mL にして 0.261g 溶解させた。

(7.57mol/L)

587nm, 670nm, 770nm の波長の強度が高い。他の物質と比べてもその強度は非常に高く、670nm の波長の強度は特に高い。

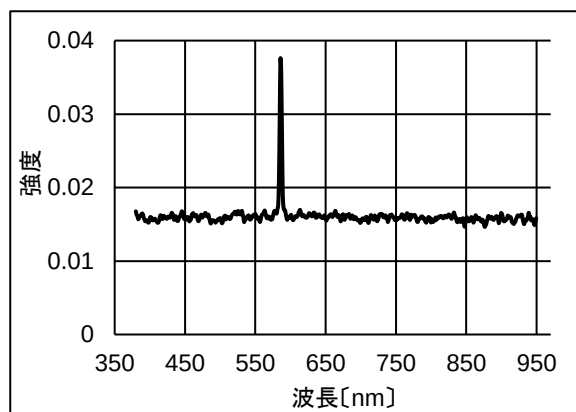


図 2 硝酸ナトリウム

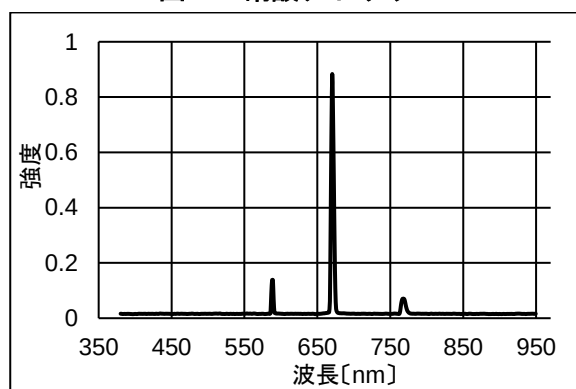


図 3 硝酸リチウム

(3) 硝酸銅(図4)

水 0.5mL に対して 0.776g 溶解させた。

(6.42mol/L)

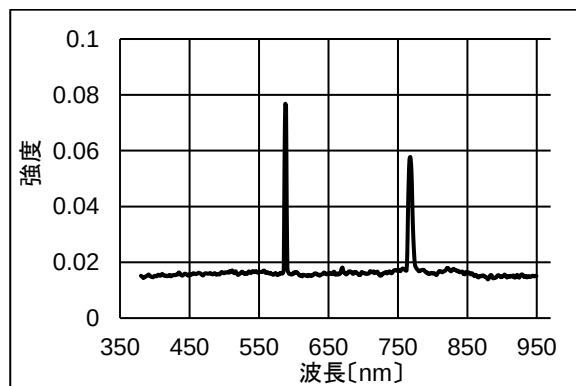


図 4 硝酸銅

580nm, 770nm の波長の強度が高い。波長の強度では炎の色は黄色と赤色の混合と予測され

るが、炎の色は緑色である.

(4)硝酸セシウム(図5)

水 0.5mL に対して 0.0973g 溶解させた.

(1.00mol/L)

852nm の赤外線 の波長の強度が高い. 可視光の範囲に特徴的な波長は確認できなかったが、炎の色は紫に近い色をしていた.

(5)硝酸カリウム(図6)

水 0.5mL に対して 0.178g 溶解させた.

(3.52mol/L)

767nm の波長の強度が高い. 同じような色、波形をしている硝酸セシウムと比べると、強度は低い.

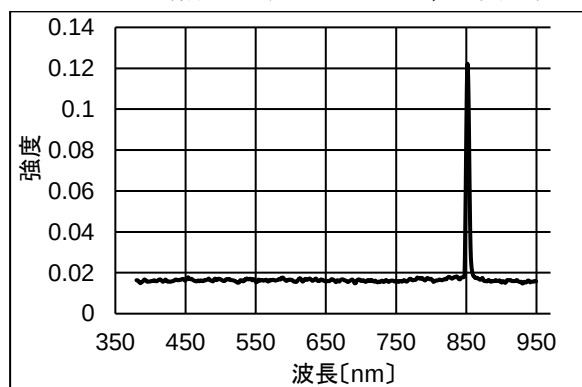


図5 硝酸セシウム

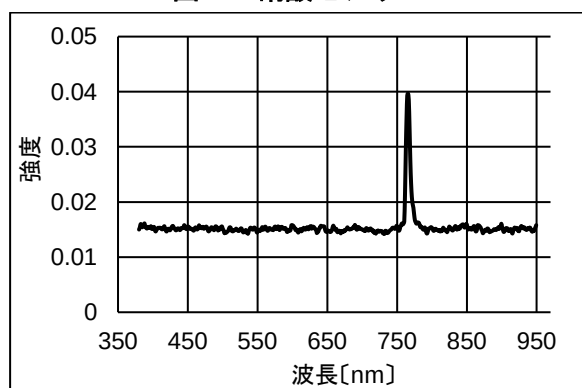


図6 硝酸カリウム

(6)硝酸ストロンチウム(図7)

水 0.5mL に対して 0.200g 溶解させた.

(1.89mol/L)

593nm, 605nm, 660nm, 674nm の波長の強度が高い. 同じような色をしているリチウムと比べると強度が低い.

以上のようなデータが得られた. それぞれに著しく強度の高い波長が存在するのだが、各物質に

よって 0.04 に満たないものからほとんど 1.0 のものまで、その強度には大きく差があった. また、グラフと炎色反応の写真を見比べると、硝酸セシウム、硝酸カリウムを除いて、強度の高い波長と炎の色が対応していた. 硝酸セシウムと硝酸カリウムにおいては、赤外線 の強度が高かった.

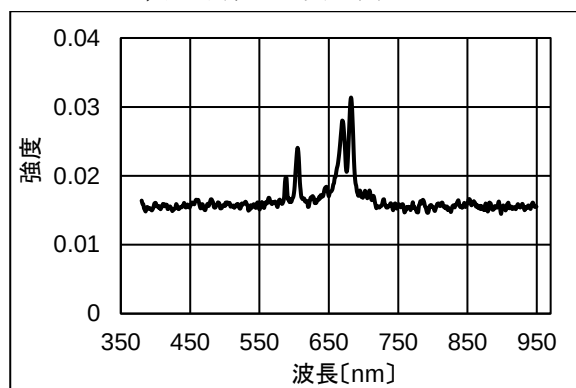


図7 硝酸ストロンチウム

[2] 2種類の金属イオンでの計測

① 上記の金属塩のうち 2 つを選び、モル濃度と炎色反応の強度は比例するという仮説をたて、波長の強度が同じになるように物質量を調整し、水溶液をつくった.

② [1]と同じ手順で波長のデータをとった.

結果は以下の通りである. グラフの横軸は波長、縦軸は強度(範囲が 0~1 の相対尺度)を表している. また図 12 に写真を示した.

〈結果〉

(7)硝酸銅・硝酸ストロンチウム(図8)

水 0.5mL に対して硝酸銅と硝酸ストロンチウムを 0.388g・0.200g 溶解させた.

(3.21mol/L・1.89mol/L)

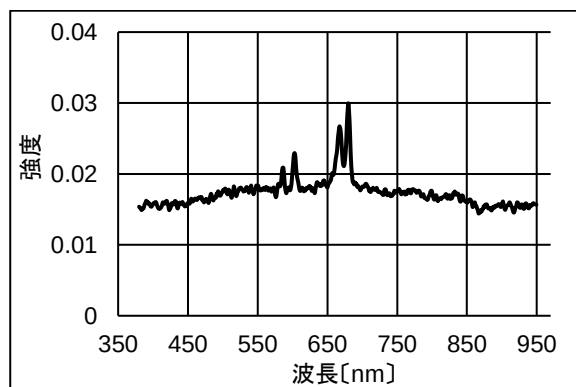


図8 硝酸銅・硝酸ストロンチウム

硝酸ストロンチウムのグラフと波形がほとんど変わらない。しかし写真を見るとよくわかるように、銅の緑色の炎色反応も観察できた。

(8)硝酸銅・硝酸ナトリウム(図9)

水 0.5mL に対して 0.388g・0.461g 溶解させた。(3.21mol/L・10.8mol/L)

硝酸ナトリウムのグラフと波形がほとんど変わらない。しかし写真を見るとわかるように、銅の緑色の光も多く出ている。

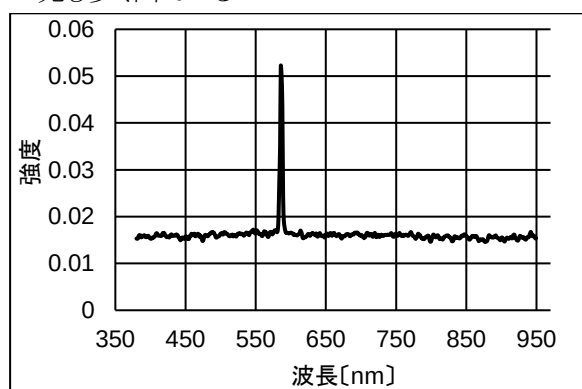


図9 硝酸銅・硝酸ナトリウム

(9)硝酸リチウム・硝酸セシウム(図10)

水 0.5mL に対して 0.0327g・0.0973g 溶解させた。(0.946mol/L・1.00mol/L)

硝酸リチウムの波形とほとんど変わらないが、可視光外に硝酸セシウムの波長も確認できる。

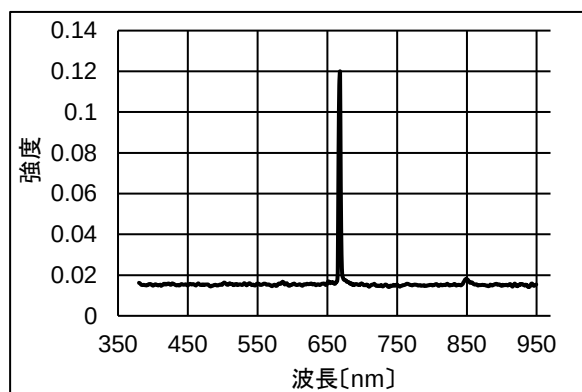


図10 硝酸リチウム・硝酸セシウム

(10)硝酸リチウム・硝酸ナトリウム(図11)

水 0.5mL に対して 0.0111g・0.461g 溶解させた。(0.322mol/L・10.8mol/L)

硝酸リチウムと硝酸ナトリウムの波形が綺麗に

重なっている。特徴的な2つの波長は強度が高く、それ以外は低い数値で安定している。

以上のようなデータが得られた。2つの塩の波長が綺麗に重なるものもあれば、強度に大きく差があるものもあった。また、写真では2つの色の炎が混在しているのにグラフ上では波長が確認できないもの、逆にグラフ上では波長が確認できるのに写真では1つの色の炎しか見られないものがあった。

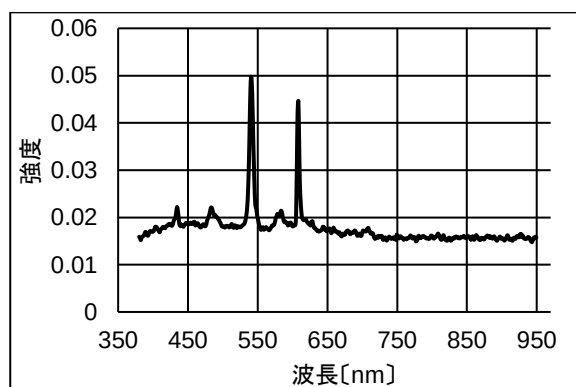


図11 硝酸リチウム・硝酸ナトリウム

4. 考察

実験[1]の硝酸セシウムと硝酸カリウムについて、実際に目で見た色と、強度が高く感知された波長が異なっていた。本実験では、目には見えない赤外線をとらえることができた。

本実験では、「波長が短いほど炎色反応が起こりにくい、つまりその波長の光の強度が低い。(波長が長いほど炎色反応が起こりやすい、つまりその波長の光の強度が高い。)」と仮説を立てた。実験[1]の実験結果を整理し、特徴的な波長が似ているものを比較したところ、(1)と(3)では 580nm あたりで(3)が(1)の約2倍、(2)と(6)では 670nm あたりで(2)が(6)の約3倍、(4)と(5)では 750~850nm あたりで(4)が(5)の約3倍という結果が得られ、似た波長でも強度にはばらつきがあった。また、波長は短い順に(1)≒(3)<(2)≒(6)<(5)<(4)であるのに対し、強度は低い順に(6)<(1)<(5)<(3)<(4)<(2)であった。これらの結果から、波長と強度に正の相関関係があるとは

言えず、仮説は棄却された。原子の基底状態と励起状態のエネルギー差がそのまま光エネルギーに換算されるわけではなく、熱エネルギーなどとしても放出されることが原因だと考えられる。

また、実験〔2〕では、実験〔1〕で得られたデータを参考に、炎色反応の強度は物質質量に比例すると仮定して、2 物質の物質質量を調整し、それぞれの特徴的な波長の強度が等しいグラフを得られるはずだった。しかし、(7)、(8)、(9)において、波長の強度が等しいグラフを得ることはできなかった。一方で、目視による観察では、複数の元素の炎色反応の色を確認できた。ワイヤレススペクトロメーターが感知した波長の強度は常に変化する。自作土台を用いることで炎色反応を安定的に起こせるようにしたとはいえ、得られる炎には揺らぎがある。人間の目には色が認識できたとしても、スペクトロメーターの検出という点では、今回の手法では十分な強度を得ることが困難だったと考えられる。

5. まとめと今後の課題

より正確なグラフを得るため、瞬間的な記録に加え、グラフを動画でも記録するなどして強度の妥当性を高めたい。物質の混合においてもこのような方法でグラフの妥当性を高める必要がある。

また、アインシュタインの関係式 ($E = h\nu = hc/\lambda$) から光エネルギーを逆算し、正確に記録した強度と比較することで、基底状態と励起状態のエネルギー差のうち光エネルギーとして放出される割合について、各物質で検証することもできると考えた。

6. 参考文献

1) 炎色反応の原理【覚えるだけで満足したくない人へ】 予備校のノリで学ぶ「大学数学・物理」

<https://www.youtube.com/watch?v=ysnKX7D7PBA>

2) 雑科学ノートー発光の話ー -hr- inoue ホーム

<https://hr-inoue.net/zscience/topics/radiation/radiation>

.html

3) 物質の燃焼 / 東邦大学名誉教授 佐藤研二

<https://www.mnc.toho-u.ac.jp/v-lab/combustion/comb02/matter01.html>

4) キッズサイエンティスト

光のエネルギーと波長

<https://www2.kek.jp/kids/class/atom/class04-03.html>

5) 丸善 日本分析化学学会, 1971 年, 分析化学便覧 改訂二版

6) 国立天文台編, 2022 年 11 月, 理科年表 2023 (机上版)

7) Go Direct® SpectroVis Plus 分光光度計 Naoco Inc.

https://www.naoco.com/vernier/sensor/user_manual/GDX-SVISPL_Go%20DirectR%20SpectroVis%20Plus.pdf

7. 添付資料

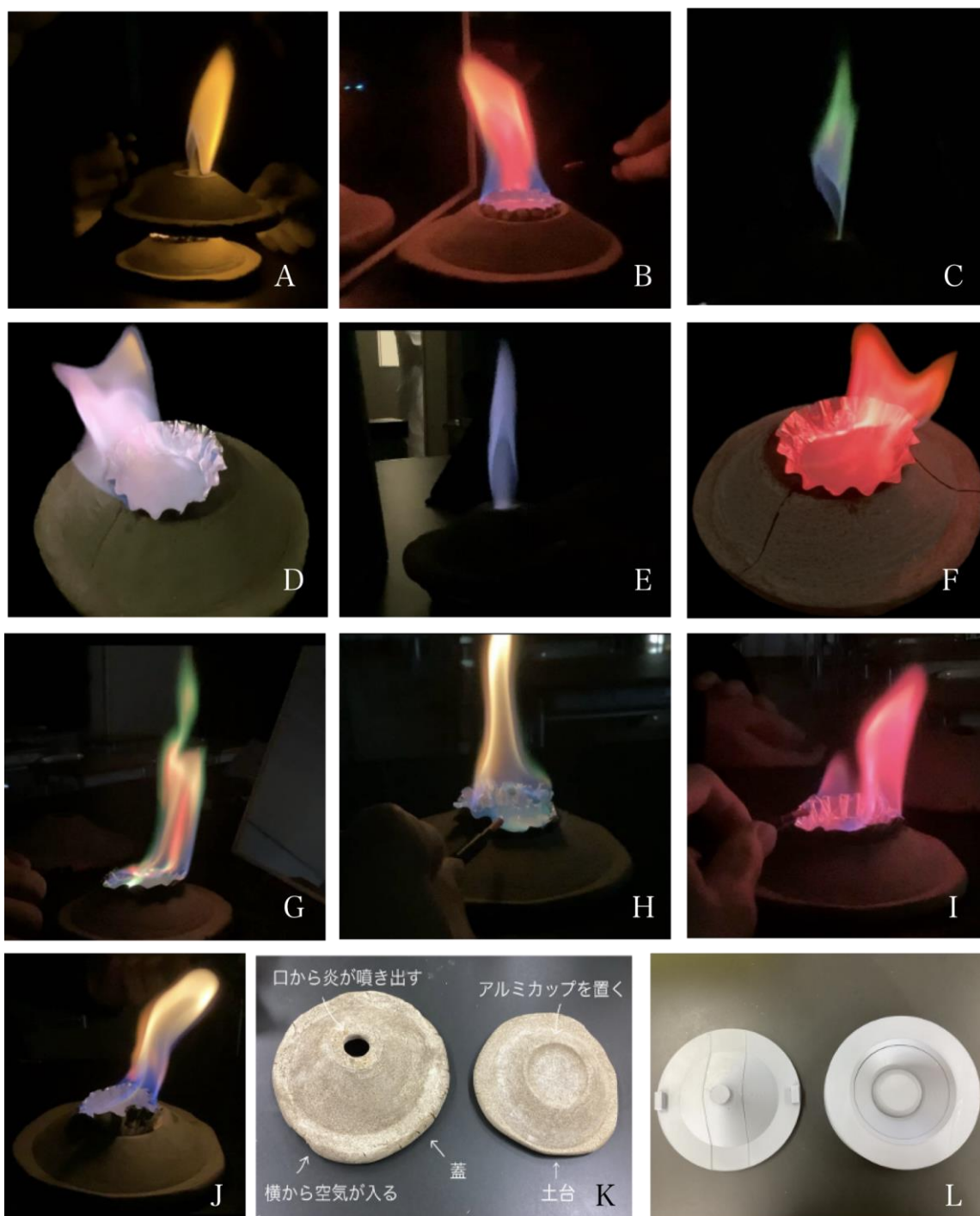


図 12：炎色反応と反応容器（とその型）の写真

A：硝酸ナトリウム B：硝酸リチウム C：硝酸銅 D：硝酸セシウム E：硝酸カリウム
 F：硝酸ストロンチウム G：硝酸銅・硝酸ストロンチウム H：硝酸銅・硝酸ナトリウム
 I：硝酸リチウム・硝酸セシウム J：硝酸リチウム・硝酸ナトリウム K：粘土で作った土台
 L：3D プリンターで作った土台の型

エマルジョン燃料の長期保存

～ 冷凍による乳化割合の変化 ～

緒方悠希 西村紫音 胡花湊

要旨

環境に良い燃料とされるエマルジョン燃料をより乳化された状態で長期保存する方法について、冷凍保存と常温保存の 2 つの方法で実験を行った。結果として、静置した状態では常温保存の方がエマルジョン部分の分解が少なかった。しかし、どちらの保存方法を用いた場合でも、保存後の一定強度の攪拌によって、作成直後のようにほぼ完全に乳化されることが確認された。このことから、エマルジョン燃料の冷凍保存によってエマルジョンの性質が変化することはないと考えられる。

1. はじめに

エマルジョン燃料とは、石油などの液体燃料に水などを乳化し、攪拌したもので、「油中の水粒子が急速に蒸発することで、周囲の燃料油を広域に分散させる二次微粒化が生じ、燃料の表面積が増大することで燃焼が促進」¹⁾され、「単位熱量の噴霧運動量が水混合によって増大し、噴霧内部への空気導入、燃料と空気の乱流混合が促進する」¹⁾ことで、完全燃焼に近い燃焼が可能となる。また、「燃料過濃な燃焼域で発生した OH ラジカルがススの前駆物質を酸化し、その生成を防ぐため、ススの発生量の削減が見込まれること」¹⁾からより健康に悪影響を与えない燃料と考えられている。そのほかにも、酸性雨の原因物質である窒素酸化物 (NO_x) の排出量の低減、燃焼効率が良といった利点があることから、環境問題や燃料不足を解決する手段として注目されている²⁾。その一方で、水などが含まれているため、比較的高温で凍結してしまい、寒冷地での使用は難しい、そのほか、分離しやすく長期間保存が難しいなどの欠点もある。私達は逆に、この欠点に着目し、冷凍保存をすることで、長時間の保存が可能になり、持ち運びも簡単になるのではないかと考えた。エマルジョン燃料の作成は、先に灯油と界面活性剤を攪拌し、そこに純水を加えて再び攪拌すると

いう方法で予備実験を行なった。予備実験では、純水と灯油と界面活性剤の配分を変化させエマルジョン燃料を作成した。作成した試料の白濁部分を蒸発皿に入れて風系を浸し、風系に火をつけて燃焼させた。結果として、燃料に水を乳化させても燃焼することがわかった。

2. 材料・研究方法

2-1. 研究試料

純水・灯油・界面活性剤 (キュキュット/界面活性剤 37%, 高級アルコール系 (陰イオン), ジアルキルスルホコハク酸ナトリウム)・スターラー・耐熱皿・ピペット・100ml ビーカー・メスシリンダー・メートルグラス・ガラス棒・SPL 円錐形遠心管・風系・チャッカマン

2-2. 研究方法

以下の A, B の方法でエマルジョン燃料を作成した。

作成方法 A

1, 灯油 25mL と界面活性剤 4mL をビーカー内でスターラーを用いて 1 分攪拌する。スターラーは約 250 回/分の回転速度に調節して用いた。

2, 1 に純水 10mL を 1 分かけて攪拌しながら加え、さらに 10 分攪拌する。

3, 作成した試料を常温で 10 分間放置したのち, 位置を固定し, iPad を用いて図 1 のようにビーカーと定規を用いて写真を撮り, 乳化された(白濁した)部分の割合を層の厚さを測って観測した.

4, 試料を凍結させる場合は, 円錐形遠心管に移し, ディープフリーザーを用いて約 -70°C で凍結させ, 一週間後に常温に約 1 時間放置して解凍し, 再び 3 と同様に乳化部分の割合を測定した.

作成方法 B

1, 2, は作成方法 A と同様である.

3, 一度攪拌を止め, 約 900 回/分に回転速度を一度加速させたのち, 240 回/分に戻し, 追加で 3 分攪拌した.

4, 作成方法 A と同様, iPad を用いて乳化され量を測定した.

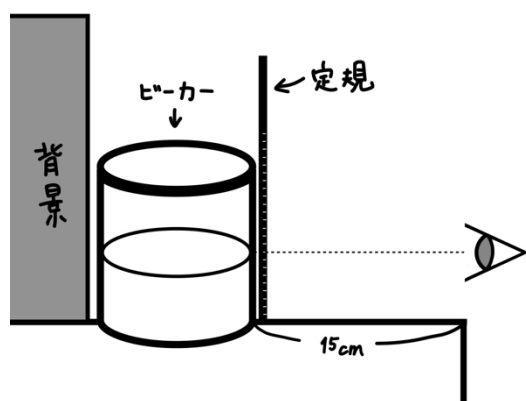


図 1. 乳化量の測定方法

試料と撮影機器を 15cm 離し, カメラレンズが水面に合うように固定し撮影する.

3. 結果

実験の結果は冷凍後の燃料の白濁部分の厚み, または 1 週間放置後の燃料の白濁部分の厚みを作成後 10 分放置した燃料の白濁部分の厚みで割り, 100 倍した後小数点第一位で四捨五入したもので表す(単位は%). これをエマルジョン部分の保存率とする. また, 白濁部分は火をつけると燃焼した.

測定したビーカー内の水面は, ビーカー底部の厚みを除いて約 23mm の高さであった.

図 2 は作成したエマルジョンと測定の様子, 表

1 は計測結果である.

表 1. 乳化された量 (平均値)

試料	作成方法	保存	作成 10 分後 (mm)	保存後 (mm)	保存率 (%)	試料数
1	A	常温	14	13	92	3
2	A	冷凍	16	6.7	42	3
3	B	常温	23	13	57	2
4	B	冷凍	18	3.0	17	2

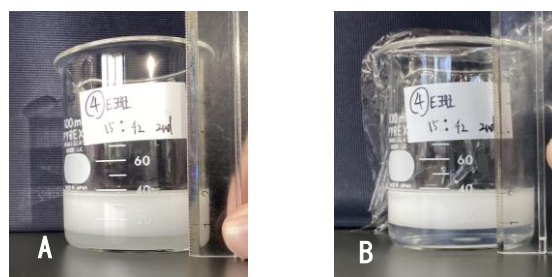


図 2. 作成したエマルジョンと測定の様子

A は作成 10 分後, B は常温一週間放置後の様子である. 共に試料 1.

試料は作成直後, 最多で三層の分離が確認された. 最上層は透明, 中層は白濁, 最下層は透明に近いがやや白濁していた. また, 最上層と中層の境界は最下層と中層の境界に比べて明瞭であった.

さらに, 以下の結果が得られた.

- ・試料 1, 2 を比較すると, 常温で一週間放置した方が保存率が高かった.

- ・作成方法 A, B の試料の 10 分放置後の保存率を比較すると, 液体の攪拌をより強く, 長く行った B の方が作成 10 分後の保存率が高かった. しかし, 1 週間放置後のエマルジョン部分の量はさ変わらなかった. また, 手順 1 で灯油と界面活性剤

を混合した際、攪拌を止めると二層に分離していた。回転速度を上げた直後には、明確な白濁の乳化が見られた。

・試料 2, 4を比較すると、試料 2 のほうが保存率が高かった。また、試料 2 と違い試料 4 には図 3 のようなエマルジョンとは異なった泡立ちが見られた。本研究以前に異なった作成手順(作成手順 A の手順 1 で界面活性剤と油の攪拌を 1 分にし、界面活性剤を 4mL から 8mL に変えた)で行った際も同様の泡が見られた。この泡は、時間が経つにつれ量が減った。



図 3. 冷凍保存後の試料 4

・作成方法 B のうち、冷凍後の試料と、一週間放置した試料がそれぞれ入った円錐形遠心管を手で垂直に持ち、泡が立たないように垂直に半回転させたのち、元に戻したところ、共に作成直後のような完全な乳化が確認された。また、その後放置しても目に見えて早い乳化の解除は確認されなかった。

4. 考察

・試料 1 と 2 の結果からこの作成方法では常温保存の方がエマルジョン部分の保存率が優れていることがわかる。これは純水の凝固点 (0°C)、に比べ、灯油の凝固点 (-46°C)³⁾ が低く、冷凍の際に先に凍った純水が液体の下部に沈澱し、その後残りの灯油が凍るため、冷凍中に分離がしやすいからであると考えられる。同様に、解凍の際も同じことが言える。

・試料 1 と 3 の結果より、作成方法 B で作成されたエマルジョン燃料は、作成方法 A で作成されたエマルジョン燃料よりも 10 分放置後の乳化された量が多かった。これは作成方法 B の方が作成方法 A よりも攪拌時間が長かったため、より乳化されたからであると考えられる。

しかし、1 週間放置後のエマルジョン部分の割合は作成方法 A も B も変わらなかった。つまり試料 1 では、10 分放置後と 1 週間放置後の変化が試料 3 に比べて小さかった。これは、試料 1, 3 で作成されたエマルジョンが油の中に水のみセルがある W/O (油中水滴) 型であり、より強く攪拌を行った試料 3 の方が、同量の灯油中に分散されていた水滴の量が多かったからであると考えられる。そのため、試料 1 よりも安定せず、灯油中の水のみセルどうしが合体しやすく、それらが密度の差により 1 週間後に試料 1 と同じくらい分離してしまったと考えられる。

今回の実験ではスターラーで攪拌を行っていたため、長時間攪拌してもみセルは細かくならず、混ざったとしても安定したみセルの大きさではなく、分離してしまったのではないかと考えられる。

・解凍した後に見られた最下層の白濁は完全な白色を呈している中層との境目が現れていることから O/W 型 (水中油滴型) のエマルジョンになっていたと考えられる。また、図 2 の試料 1 と比較すると図 3 の試料 4 の泡立ったエマルジョン部分は球状ではなく、外部の灯油部分と密度が同じくらいであったことから、図 4 のような O/W/O 型多相エマルジョン⁴⁾になっていたのだと考えられる。このことから、時間が経つにつれ純水と灯油の密度差から灯油のみセルを覆う O/W 型のエマルジョンの膜が破れ、徐々に泡がなくなったと考えられる。この泡立ちが生成された試料は二つとも同じ日に解凍されているため、他の試料と比べて、原因は解凍の際の室温が関係していると考えられるが、当日の気温を測定していないため、関連性は断定できない。泡だちがどのようにして二つの試料

でのみ発生したのかはわからなかった。

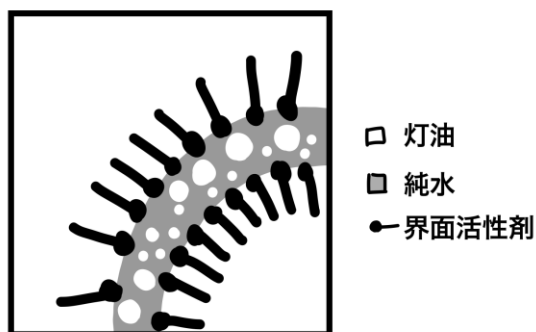


図 4. 泡状部分の構造の予想図
右に示された物質が図のように分布して
いるのではないかと考えられる。

・作成方法 B のうち、冷凍保存後の試料と、常温保存後の試料がそれぞれ入った円錐形遠心管を手で垂直に持ち、泡が立たないように垂直に半回転させたのち、元に戻したところ、共に作成直後のような完全な乳化が確認された。これは作成方法 B では白濁した上層と透明な下層の二層に分離するのみであり、上部は燃焼するため W/O エマルジョンであるので、下層は主に純水であると考えられる。これを半回転させた場合、円錐形遠心管の形状から一時的に純水が上、ミセルの外部が油であるエマルジョンが下の状態になり、上部にあるものの、密度が大きい純水が界面活性剤が存在する境界を突き破り、下部に降りるという現象が発生する。この現象によって、円錐形遠心管の上下を逆さまにする攪拌によりエマルジョンが形成されたと考えられる。

5. まとめと今後の課題

今回の実験で、作成したエマルジョンを凍結解凍させた後も一定の激しさの攪拌を加えれば常温保存したものと同様に燃焼することが判明した。しかし、手で円錐形遠心管を泡が立たないように垂直に半回転させ元に戻す攪拌はスターラーを用いたものよりも多くのエネルギーを必要とする可能性もあり、効率が良いとは断言できない。また、

作成したエマルジョン燃料内に含まれるエマルジョンの粒径を測定していないため、粘度や粒径の不均一性において現在のエマルジョン燃料の課題はクリアされていない。今後は、作成したエマルジョンの燃焼実験を通して、燃焼の効率や安定性を測定し、燃焼前と同等の燃焼効率を得ることができているのかを明らかにしたい。また、冷凍中のエマルジョンがどのような形で凍結しているのかをディープフリーザーに入れてから完全に凍る前に一旦取り出し、固体の水と一部固体で一部液体の灯油の共存状態を観察したい。

6. 参考文献

- 1) 段智久, 2016, エマルジョンの基本特性とその燃焼における効果. 日本マリンエンジニアリング学会誌, 第 51 巻, 第 3 号, 55.
- 2) 気象庁,
<https://www.data.jam.go.jp/env/acid,2025.1.12>
- 3) 厚生労働省, 2019. 3. 15, 化学物質: 灯油-職場の安全サイト, <https://anzeninfo.mhlw.go.jp/anzen/gmsds/8008-20-6.html,2024.1.12>
- 4) 喜多淑子ほか, 1997, イオン濃度測定による W/O/W 型多相エマルジョンの安定性の検討. 日本化学会誌, No. 6, 748.

イチョウウキゴケのストックカルチャー化を目指した純粋培養

～殺菌に最適な次亜塩素酸濃度の模索～

高松慈 森本莉久 山下慶人

要旨

イチョウウキゴケ(*Ricciocarpos natans*)は苔類ウキゴケ科に属する浮水性コケ植物である。浮水性の葉状体はスポンジ状の構造を持つ。本種は農業形態や生息環境の変化により分布を減らしていると言われているが、詳細に関する知見は不足している。生息実態の把握や個体減少の原因を究明するためにも人工的な環境下にある条件比較が必要となる。様々な条件で研究を行うため、ストックカルチャーの作成が求められる。そこで、本研究では作成が容易なハイポネックス培地を用いたイチョウウキゴケの安定した純粋培養を目指し、実験を行った。

実験では次亜塩素酸水溶液を用いて株の殺菌を行い、ハイポネックスを添加した寒天培地に移して恒温器内で培養を行ったが、コンタミネーションや殺菌処理による株の死滅により培養が成功しなかった。イチョウウキゴケはクチクラ層を持たず、スポンジ状の構造を持っていることが殺菌による枯死の原因だと考えられる。

1. はじめに

イチョウウキゴケは世界各地に分布しており、国内にも広く生育している。葉状体にはスポンジ状の空気を含む部分があり、腹面には紫色をおびた鱗片が密生している。葉状体先端の頂端細胞によって二又状に成長し、ある程度の大きさに達すると分裂して無性生殖を行う。個体数を増やすには上記のような栄養生殖と有性生殖によって生じる胞子を通じての繁殖が知られている。

本種は青森県をはじめとした28府県でRDB(レッドデータベース)カテゴリに属しており、各地で減少しているとされる。本種の減少要因として乾田化や農薬の使用、水質汚濁などが挙げられているものの知見が

不足しており、個体減少要因の精査のためには純粋培養されたストックカルチャーの作成が求められる。

本研究では、イチョウウキゴケに関する研究の基盤とするための純粋培養を成功させることを目的とし、次亜塩素酸ナトリウム水溶液を用いて株が死滅せず殺菌が可能な手法を検討した。

2. 材料・研究方法

2-1. 研究試料

本実験では2024年にオンラインフリーマーケットで購入した産地不明の株を無性生殖させ使用した。株は22℃に設定した人工気象機内で3000倍に希釈したハイポネックス原液(ハイポネックスジャパン)を用い、発泡スチロール容器

にて栽培を行った。栽培を続けていると、藍藻やアオミドロなどが繁殖するため一週間ごとに換水を行いハイポネックスを追加した。

2-2. 研究方法

実験1:ピューラックス(株式会社オーヤラックス)6%次亜塩素酸ナトリウム水溶液を純水で希釈し、1%と2%次亜塩素酸ナトリウム水溶液を作成した。(以下殺菌液と表記)殺菌液とイチョウウキゴケを遠沈管に入れ、転倒混和を行いながら2分間殺菌処理し、滅菌水ですすいだ後に、寒天培地(水 1L あたりスクロース 20g, ハイポネックス 2mL, 寒天 14g を加え pH5.5 に調整したもの)に移し 25℃に設定した恒温器のなかで培養した。

実験2:ピューラックスを純水で希釈し、次亜塩素酸ナトリウム濃度が0.4%と0.2%になるように純水で希釈した殺菌液でそれぞれ1分、1.5分、2分間実験1と同様の手法で殺菌処理し、寒天培地上で培養を行った。

実験3:キッチンブリーチ(ミツエイ株式会社)約6%次亜塩素酸ナトリウム水溶液を0.2%, 0.1%, 0.02%, 0.01%の有効塩素濃度になるように純水で希釈し、実験1と同様に5分間殺菌を行い寒天培地上で培養した。

実験4:実験1, 2で使用したピューラックスが少なくなったため、新規購入したピューラックスを次亜塩素酸ナトリウム濃度1%, 0.1%, 0.01%になるよう純水で希釈し、殺菌液を作成した。イチョウウキゴケをビーカーに入れガーゼで蓋をして10分間流水で洗浄し、70%エタノールで30秒間殺菌を行った。その後、遠沈

管に次亜塩素酸ナトリウムを含む殺菌液を30ml ずつ取り、それぞれの濃度で振り混ぜながら2.5分、5分間殺菌を行った。殺菌終了後、滅菌水で株の表面をすすぎ、培地に移しパラフィルムでシャーレの周囲を密封した。その後25℃に設定した恒温器の中で培養を行った。

実験5:ピューラックスを純水で希釈し、次亜塩素酸ナトリウム濃度が0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8%になるように殺菌液を作成した。その後、実験4と同様にイチョウウキゴケを洗浄して70%エタノールで殺菌し、5分間それぞれの濃度の殺菌液で殺菌処理を行なった。殺菌終了後、滅菌水で株の表面をすすぎ、培地に移しパラフィルムでシャーレの周囲を密封した。その後25℃に設定した恒温器の中で培養を行った。

3. 結果

実験によって得られた、次亜塩素酸ナトリウム濃度と殺菌時間におけるカビの発生状況は(図1)にまとめた。次亜塩素酸は漂白作用により標的とする細菌やカビだけでなく、イチョウウキゴケの細胞成分にも酸化分解による損傷を与える。そのため実験中及び実験後に殺菌処理を行ったイチョウウキゴケ株が枯死した。図1ではイチョウウキゴケの葉緑素が分解され白色を呈した株を白化と表記した。なお白化した株は全て実験後に枯死を確認した。

3-1. 実験1の結果

1%, 2%次亜塩素酸水で殺菌処理を行った株は2日後には全て白化し死滅した。株を移した寒天培地にカビの発生は確認されなかった。

3-2. 実験2の結果

全ての培地にカビやバクテリアが繁殖した。カビやバクテリアは培地全体を薄く覆っていた

がイチョウウキゴケの株を中心として膨れ上がるように成長しているものも確認された。株の白化は見られなかった。

3-3. 実験 3 の結果

0.1%の有効塩素濃度の殺菌液で殺菌した株はカビが発生し、株は枯死した。0.2%の有効塩素濃度の殺菌液で殺菌した株は培地にカビは生えていたものの、株は枯死していなかった。0.01%、0.02%で殺菌した株には全ての培地にカビの発生が確認され枯死していた。

3-4. 実験 4 の結果

1%の殺菌液で処理したイチョウウキゴケ株は、実験終了時点で大部分が白化した。処理時間 2.5 分では 5.0 分処理した株と異なり部分的に白化が見られた。0.1%、0.01%で殺菌処理を行った株は処理時間に関わらず実験直後に白化は発生しなかった。実験終了から 3 日後時点で、0.1%、0.01%で処理した株にはカビが繁殖し、株の変色は発生しなかった。1.0%で 5 分処理した株は完全に白化し、死滅したが 2 分 30 秒処理した株は完全な白化にさらに数日を要した。

3-5. 実験 5 の結果

0.8%で殺菌した株は完全に白化しており、カビやバクテリアの発生は見られなかった。0.6%、0.4%で殺菌した株は、わずかに緑色の部分が残っていたものの大半が白化していた。カビやバクテリアの発生は見られなかった。0.2%で殺菌した株はそのほかの濃度で殺菌された株よりも白化している部分は少なかったが、半分以上白化しており、カビの発生が見られた。

4. 考察

実験により得られた結果を横軸に次亜塩素酸濃度 (%), 縦軸に殺菌時間 (min) をと

った散布図で表した (図 1)。

実験 1 で殺菌処理を行った全ての株が死滅したのは、使用した殺菌液中の次亜塩素酸濃度が高かったことが原因と考えられる。イチョウウキゴケの葉状体はスポンジ状の構造を持ち内部まで殺菌液が侵入した、また表面にクチクラ層が存在せず次亜塩素酸が細胞の内部に浸透したために通常の維管束植物を殺菌する際に使用される濃度で株が死滅したと考える。

一方で、有効塩素濃度 0.2~0.4%ではカビの発生が確認されたため、殺菌に十分な濃度に達していなかったと考えられる。

実験 3 ではキッチンブリーチを用いて殺菌したため、次亜塩素酸以外にも水酸化ナトリウムが含まれていたが、同じ次亜塩素酸濃度になるように希釈したピューラックスと結果を比べると、株の脱色の様子やカビやバクテリアの発生状況は変わらなかったため、殺菌力に大きな差はないと考えた。そのため、水酸化ナトリウムが株の殺菌に及ぼした影響は小さいと考える。

実験 4 では実験 1, 実験 2 で使用したピューラックスとは異なる、新規に購入したピューラックスを用いて殺菌処理を行なったが、実験 2 と結果は同様であったため、殺菌力に大きな違いはないと考えられる。

実験 5 において次亜塩素酸ナトリウム濃度 0.2%で殺菌した場合に着目すると株の大部分が殺菌処理によって脱色したにもかかわらず、カビの発生が見られたため、イチョウウキゴケの殺菌液に対する耐性がカビよりも低いのではないかと考えた。

以上より、現時点ではイチョウウキゴケの次亜塩素酸ナトリウムによる殺菌は困難であると思われる。カビの菌糸や胞子を水に懸濁した場合、菌糸は 50℃以上、胞子は 80℃で 30 分程

度の加熱を行うことで殺菌が可能であるが、加熱処理を葉状体に行うことは現実的ではない。正,負イオンの糸状菌に与える影響を調べた研究によると、正,負イオンにより処理を行った菌の種類によって孢子の発芽率に差があることが示されている。⁷⁾また、殺菌以外にカビの発生を抑える方法として防カビ剤を用いることが挙げられる。食品添加物として用いられることのあるプロピオン酸カルシウムはカビの孢子の発芽を遅らせる効果がある。培地にプロピオン酸カルシウムを添加することで、本実験で行った殺菌処理で不活化できなかったカビの孢子の発芽を抑制し、純粋培養を行うことができるのではないかと考える。他にも培地のカビやバクテリアの発生を防ぐ Plant Preservative Mixture(PPM)を用いる方法も考えられる。PPM は熱安定性がよいので、培地と同時にオートクレーブが可能であり、培地への添加が容易である。また、細菌・カビなどの特定酵素をターゲットにしたものであるため、葉状体に大きな影響を与えず、カビやバクテリアの発生を抑えることができるのではないかと考える。

5. まとめと今後の課題

本研究では次亜塩素酸ナトリウム水溶液、キッチンブリーチを用いたイチョウウキゴケ葉状体の殺菌方法を検討したが、株を損傷させることなく殺菌を行うことができなかった。考察で述べたようにイチョウウキゴケの葉状体は次亜塩素酸水を用いた殺菌処理に対して脆弱と考えられるため、次亜塩素酸ナトリウム以外を用いた殺菌や、カビの孢子の発芽を抑えるプロピオン酸カルシウムや PPM を培地に添加することなどが有効なのではないかと考えた。殺菌処理とカビの孢子の発芽の抑制の両方を行うことで、葉状体への影響を小さくしつつ純粋培

養を行うことができるのではないかと考える。また、殺菌処理への耐性が高いとされる孢子嚢を用いた培養へ切り替えを試みたが、孢子嚢の採集が課題となり実験を行うことができなかった。実験外で偶然得られた1粒の孢子嚢を殺菌し、培地に移したところカビの発生は見られなかったが孢子は発芽しなかった。孢子がどのような条件下で作られるのかや発芽条件に関しても知見が不足しているため今後の課題とする。

6. 参考文献

- 1) 秋山弘之, 1998, 無性的に繁殖する蘚苔類の遺伝的多様性 : ウキゴケとイチョウウキゴケの事例から, 蘚苔類研究, 7 号, 5 章, p152-160.
- 2) 前田雅子・秋山弘之・芦谷美奈子, 2016, イチョウウキゴケの生活史 1 水田環境における生殖器官ならびに孢子体の成長の観察, 人と自然, 27 号, p43-52.
- 3) 大和勝幸・石崎公庸・河内孝之, 2009, ゼニゴケの培養法, 低温科学, 67 号, p23-29.
- 4) 井上浩, 1986, フィールド図鑑 コケ, 東海大学出版会, p26
- 5) 岩月善之助・伊沢正名, 1996, 山溪フィールドブックス 14 しだ・こけ, 山と溪谷社, p233
- 6) 川那部浩哉・竹門康弘・田端英雄・藤田昇・遠藤彰・小椋純一・村上興正, 2008, 深泥池の自然と暮らし 生態系管理をめざして, サンライズ出版, p47, 56
- 7) 渡辺昭宜・徳丸雅一・池内俱子・正木宏・柳川敬子, 1976, 洋菓子及びパンの保存性に対するプロピオン酸塩の再検討
- 8) 伊豆美咲・高木滋樹・山本聡彦・高見星司・久保幸弘・森永力, 2022, 正及び負イオンの糸

状菌に対する生育抑制効果,Indoor
Environment, vol25, p21-26

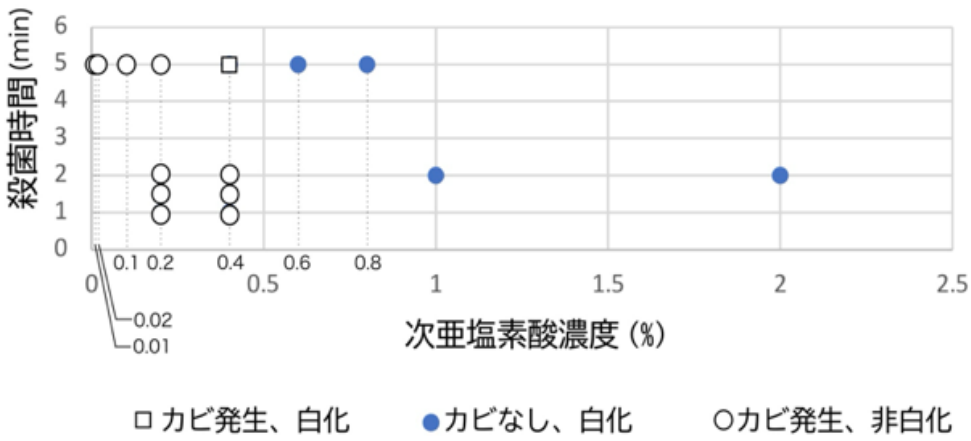


図1. 次亜塩素酸ナトリウム濃度と殺菌時間によるカビ発生状況及び植物体への影響

ダンゴムシの好む香気成分の同定

～ 彼らはビール愛好家 ～

大塚脩生 河野一輝 須永雛子 長谷川寧香

要旨

害虫として駆除方法が注目されているダンゴムシについて、ビールに引き寄せられることを示し、またどの香気成分に引き付けられているのか調べた。ビールから蒸留によってアルコールを抽出し、抽出後残った液体(以下、抽残液と表記)と共に屋外に置いてダンゴムシが何匹集まるか調べたところ、抽残液により多くのダンゴムシが集まった。これによりダンゴムシを引き付ける香気成分としてはアルコール成分よりも抽残液の方が高い効果があることが示唆された。

1. はじめに

オカダンゴムシ(*Armadillidium vulgare*)は日本においてダンゴムシと呼ばれる種の正式名称であり、主に枯葉の下や岩裏など、光が少なく湿度の高い場所を好むことが知られている。ダンゴムシは雑食のため、植物の枯葉や根、昆虫の死骸などを常食とする。その分解能力の高さから、世間一般には、ダンゴムシは益虫として認知されているが、農業の場においては、ダンゴムシの雑食性により、根や葉の食害が報告されている。

その被害を防ぐために、近年ではダンゴムシを駆除する農薬などが開発されているが、昨今の無農薬が歓迎されている風潮を踏まえると、農薬を使わないダンゴムシの駆除方法の発見の価値は高いように思われる。

そんな中、インターネット上で、“ダンゴムシはビールに引きつけられるため、ビールの缶を庭に埋めればダンゴムシを駆除できる”という記事¹⁾を発見したが、それを立証する具体的な論文を見つけることができなかった。そのため本研究では、ビール中に含まれる香気成分によってダンゴムシを誘引し、駆除できるかどうかについて研究した。

この研究の目的は、ダンゴムシがビール中のどの香気成分に誘引されるのかについて調査し、それを利用したダンゴムシの駆除の方法について

提案することである。

私たちは、ダンゴムシを誘引している成分は、麦芽とフーゼルアルコール(炭素数が3以上のアルコールの総称)であるという仮説を立てた。

参照した記事では、ダンゴムシは発泡酒よりも麦芽比率の高いビールに引きつけられるということが記載されていた。そのことから、麦芽がダンゴムシを誘引しているのではないかという仮説を立てた。また、ビール中の香気成分のうち、最も含有濃度の高い香気成分はフーゼルアルコールであったということが報告されている²⁾。そこから、ダンゴムシを誘引しているのはアルコールではないかという仮説も立てた。

2. 材料・研究方法

2-1. 研究試料

・オカダンゴムシ

実験①の際は実験場所である洛北高校視聴覚室横の木の下の花壇に生息する個体全てを対象とした。

実験②に使用したダンゴムシは全て洛北高校の構内で採取し、教室内で飼育を行った。

実験の際は、採取した40匹の中から無作為に10個体を選別して実験を行った。雌雄の区別は行わなかった。

- ・ キリナー番搾りビール
- ・ 直径45cm、深さ2cmのプラスチックシャーレ

2-2. 実験①

この実験では、仮説のうち、フーゼルアルコールがダンゴムシを誘引しているかどうかについて調べるため実験を行った。実験場所は、洛北高校視聴覚室横の木の下の花壇とした。

炭酸の影響を除外するため、減圧によってビールの炭酸を抜いたのち、アルコールを取り出すために水蒸気蒸留を行った。水蒸気蒸留によって抽出した液体を試料A、蒸留後に残った抽残液を試料Bとした。試料A、試料B、水をそれぞれ40mlずつシャーレに入れ、異物が混入しないよう1回目の実験では針で穴をあけた厚紙で、2回目の実験では金網でそれぞれ覆い、上記の実験場所に設置し(図1)、21時間後に何匹ダンゴムシが集まっているかを目視で測定した。



図1. 実験①の試料の配置

上から順に試料B、水、試料A

2-2. 実験②

当初は実験①を継続し、室内実験は行わない予定だったが、11月に入ると外気温が低下し、ダンゴムシの生育適温である20～25℃に届かない日が続いたため、室内での試験を実施した。野外試験を室内で行う方法を確立するため、以下の方法で試験を行った。

白色のトレー(約22cm×約32cm×約6cm)の

四隅のうち対辺上にある箇所をにそれぞれ試料を含ませたガーゼを置いた(図2)のち、ダンゴムシ10匹を入れ、ダンボールとゴミ袋で光を遮った状態にし、10分ごとに目視で観察した。ガーゼに含ませる試料として、一度目の実験では実験①の試料Bと同じものと純水を、二度目の実験では操作を加えていないビールと純水を用いた。



図2. 実験②で用いた道具

トレーの両辺中央もしくは対角に試料を含ませたガーゼを設置した

3. 結果

3-1. 実験①

9/26(木)17:00～9/27(金)14:30と

10/25(土)17:00～10/26(土)8:30の計2回実験を行った。各終了時刻に各シャーレの上、下、側面から2cm以内にいる個体数を数えた。結果は表1の通りである。

表1. 実験①

実験日	水	試料A	試料B
9/26	0	1	21
10/25	0	3	17

野外試験で水、試料A、試料Bに集まったダンゴムシ数

※数値の単位は全て匹である。

9/26(木)に行った実験において、異物混入対策のためにシャーレを厚紙で覆ったが、試料の蒸発によって厚紙に水分が吸収され厚紙が外れてしまい図4、5のようにダンゴムシの侵入を許した

ため、2 回目の実験以降は異物混入対策としてシャーレを金網で覆うこととした。



図 3. 9/26 実施分の実験①の水のシャーレ付近の様子
周囲にダンゴムシは確認できなかった



図 4



図 5

9/26 実施分の実験①のシャーレ内の様子
図 4 は試料 A，図 5 は試料 B

3-2. 実験②

12/6(金)15:00～15:40, 12/13(金)15:00～15:40 の計 2 回行った。各ガーゼから半径 2cm 以内にいる個体数を数え、他の場所にいる個体は「そ

の他」として数えた。結果は表 2 のようになった。

表 2. 実験②-1

試料／時間	10 分	20 分	30 分	40 分
減圧した ビール	1	1	0	0
純水	2	9	10	10
その他	7	0	0	0

12/6(金)15:00～15:40 に室内試験にてそれぞれのガーゼに集まったダンゴムシ数

※単位は全て匹である。

表 3. 実験②-2

試料／時間	10 分	20 分	30 分	40 分
ビール	0	0	0	0
純水	8	8	4	4
その他	2	2	6	6

12/13(金)15:00～15:40 に室内試験にてそれぞれのガーゼに集まったダンゴムシ数

※単位は全て匹である。

両方の実験において、純水のガーゼから 2cm 以内の範囲にいたダンゴムシのうち、ほとんどがガーゼと接触していた(図 6-C 参照)。

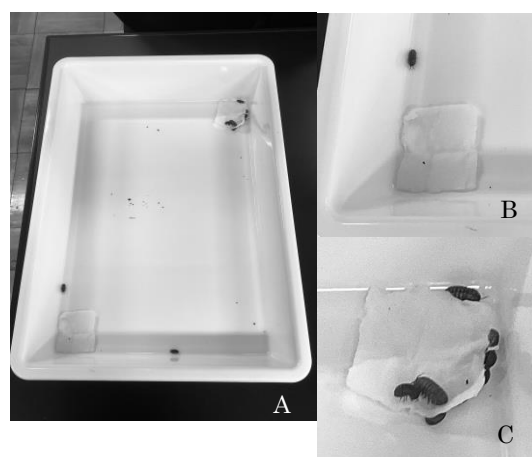


図 6. 12/6(金)に行われた実験②-2 の開始 20 分時点での様子

A は全体図。B, C はそれぞれビール、純水を含ませたガーゼの拡大図

4. 考察

4-1. 実験①

実験①より、ダンゴムシは水、試料 A と比べ試料 B により引き付けられやすいということが明らかになった。試料 A はウイスキーと同様の方法で蒸留された液体であり、蒸留によってビールと比較して純粋なアルコールが取り出されていると考えられる。一方、試料 B は元のビールのアルコールを取り除いた、ビールのその他の香気成分が含まれている液体であるため、ダンゴムシを引き付ける主な香気成分がアルコールであると仮定すると、ダンゴムシは試料 A により引き付けられるはずである。したがって、ダンゴムシを引き付ける香気成分はアルコールではないという可能性が高まった。

4-2. 実験②

実験②より、ダンゴムシは純水に引き付けられ、揮発成分の有無に関わらずビールには引き付けられないことが分かった。これは実験①で得られた結果に明らかに反しており、理由は以下の可能性が挙げられる。

- ・試料をガーゼに染み込ませると香気成分が薄くなり、誘引効果がなくなる
- ・底面、壁面がプラスチックの場合、ダンゴムシが屋外と同じ挙動をしない
- ・実験を行っていた際、トレーの中が乾燥していたため、ダンゴムシが水分を求めて純水の染み込んだガーゼに寄った

5. まとめと今後の課題

本研究からダンゴムシを引き付ける香気成分がアルコールである可能性は低いといえる。他の香気成分の候補として同じく含有量の多い麦芽やホップがあり、これらを用いて同様に実験を進めていくことを目指している。一方、冬はダンゴムシの多くが休眠する時期であり、実験①のような屋外実験を行うことは難しい上、実験②のような屋外実験は難航しているので、まずは屋外実験と同様の

結果を示す屋内実験を確立することが目下の課題である。

6. 参考文献

- 1) Canary, 2020, みんなの趣味の園芸 ナメクジ退治 2020/05/18,
https://www.shuminoengei.jp/?m=pc&a=page_mo_diary_detail&target_c_diary_id=683866, 2025.1.14.
- 2) 岸本徹, 2021, ビールの香りを支える閾値以下濃度の香気成分群. 日本醸造協会誌, 116, 4, 198-203.

大腸菌の発育阻害物質の効果

～ コロニーの数とサイズ, pH の比較 ～

伊藤祐名 福永紗季

要旨

本研究では、大腸菌の自己の発育を阻害する物質(以降阻害物質と書く)が生育にどのくらいの効果を示すのかを調べた。阻害物質が含まれた培地を作成して通常の培地との大腸菌の生育の違いをコロニーの数とサイズの観点で比較した。また、大腸菌を培養した後の培地の pH を測定した。以上の実験から阻害物質は大腸菌の増殖を止めるものであり、アルカリ性である可能性があることを確認した。

1. はじめに

細菌を寒天培地で培養する際、コロニーの密度が高いと、一つのコロニーのサイズは小さくなり、コロニーの密度が低いと、コロニーのサイズは大きくなる。また、寒天上の細菌のコロニーの内部では、菌体がぎっしりと密接して生育するが、液体培養では菌体密度がかなり低いところで増殖が停止する。

大腸菌に関しても同様の現象が観測されている。先行研究よりわかっていることは以下の2点である。細菌をブドウ糖寒天培地を用いて培養した先行研究より、細菌は増殖しコロニーが大きくなると自己発育阻害物質を生産し、それらが寒天内を拡散することが確認されている。また、ブドウ糖寒天培地の pH を NaOH と乳酸を用いて調整した先行研究から、阻害物質は酸性側で作用が強く、耐熱性に富むことがわかっている¹⁾。

本研究では、阻害物質の効果は「自己」阻害物質であるため、かなり小さいものだろう、という仮説のもと、大腸菌の阻害物質が示す効果がどれくらいのものなのかを調べた。大腸菌を培養して滅菌した寒天培地と、通常の寒天培地の2種の培地それぞれで大腸菌を培養し、その生育具合を測定・記録する

実験を繰り返し行い、コロニーの数と大きさの違いを比較した。

2. 材料・研究方法

2-1. 研究試料

- ・ LB 粉末
- ・ 寒天粉末
- ・ 大腸菌(HB101 K12 株)
- ・ 純水
- ・ リトマス試験紙
- ・ 滅菌シャーレ(90×15mm)
- ・ チューブ
- ・ マイクロピペット
- ・ 100mL ビーカー
- ・ 薬さじ
- ・ 耐熱ねじ口瓶
- ・ コンラージ棒
- ・ ガスバーナー
- ・ 薬包紙
- ・ 電子天秤
- ・ iPad(写真撮影用)
- ・ 消毒用エタノール (75%)
- ・ ラップ
- ・ アルミホイル
- ・ ウォーターバス

- ・インキュベーター
- ・オートクレーブ
- ・分光光度計
- ・ループ

2-2. 実験準備

- ・培地の作成

LB 粉末, 寒天粉末, 純水を耐熱ねじ口瓶に入れて混ぜ, 滅菌後(121°C, 15 分), シャーレに分注して寒天培地を作成した. LB の濃度は 3.75%, 2.50%, 1.25% の 3 種類に調整した.

- ・大腸菌溶液の作成

大腸菌溶液は LB 粉末と純水を耐熱ねじ口瓶に入れて混ぜ, 121°C のオートクレーブに 15 分かけて, 濃度 2.50% の液体培地 5mL に大腸菌 1μL を加え, 37°C のウォーターバスに 24 時間かけたものを使用した.

2-3. 実験①の研究手法

寒天培地はすべて LB の濃度が 2.50% のものを使用した. 寒天培地に原液を 1.0×10^{12} 倍と 1.0×10^{14} 倍に希釈した大腸菌溶液を 200μL ずつ用いて 2 枚ずつ, 計 4 枚植菌した. その後, 38°C のインキュベーター内で 24 時間培養した. 寒天培地を取り出し, 培地一つにつき 0.40g ずつ LB 粉末を追加し, LB 培地の終濃度が 2.50% 程度になるように調整を行った. 121°C のオートクレーブに 15 分かけて滅菌し, シャーレに分注した. 以上の手順を施した培地と, 2.5% LB 寒天培地, それぞれに 200μL 植菌した. 38°C のインキュベーター内で 24 時間培養したのち, 取り出して観察した.

2-4. 実験②, 実験③の研究手法

実験②では LB の濃度が 1.25% と 2.50% の寒天培地を, 実験③では濃度が 3.75% と 2.50% の寒天培地を用いた. 大腸菌溶液 100μL と LB 溶液 900μL をチューブに入れて混ぜ, 10 倍ずつ希釈することを繰り返し, 1.0×10^5 倍,

1.0×10^6 倍, 1.0×10^7 倍希釈の大腸菌溶液を作成した. 3 種類の濃度の大腸菌溶液を 200μL ずつ用いて, 2 種類の培地にそれぞれ 2 個, 計 12 個植菌した. ラップで包んで 38°C のインキュベーター内で 1 週間培養し, その間定期的に取り出して観察した. 観察する際に, 1.0×10^6 倍と 1.0×10^7 倍希釈した大腸菌溶液を用いた培地の写真を撮影し, 培地内のコロニーの数サイズごとに分けて測定した.

2-5. 実験④の研究手法

寒天培地はすべて LB の濃度が 2.50% のものを使用した. 寒天培地に分光光度計を用いて濃度を測定した大腸菌溶液を 1.0×10^6 倍と 1.0×10^7 倍に希釈したものを 200μL ずつ用いて 2 枚ずつ, 計 4 枚植菌した. その後, 38°C のインキュベーター内で 24 時間培養した. この際, 大腸菌を植菌していない寒天培地もインキュベーターに入れた. 以降の手順はすべての寒天培地に対して行った. 寒天培地を取り出し, 培地一つにつき 0.4g ずつ LB 粉末を追加し, LB 培地の終濃度が 2.50% 程度になるように調整した. 121°C のオートクレーブに 15 分かけて滅菌し, シャーレに分注した. それぞれに希釈した大腸菌溶液を 200μL 植菌した. 38°C のインキュベーター内で 24 時間培養したのち, 取り出して観察した.

2-6. 実験⑤の研究手法

大腸菌のコロニーをループでこそぎ取りシャーレの真ん中に塗り, 38°C のインキュベーターで 7 時間培養したものと 24 時間培養したものをを用いた. コロニーの部分, そこから 1cm までの部分, それ以外の部分を分けて電子レンジで溶かし pH を測定した.

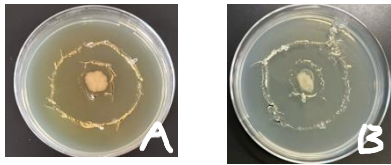


図 1. 寒天を切り分けた様子

A は 24 時間培養したもの B は 7 時間培養したもの

3. 結果

3-1. 実験①の結果

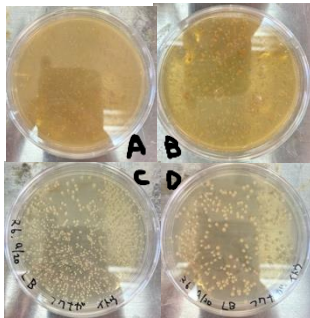


図 2. 培養した後の培地の様子

A, B が阻害物質入り C, D が阻害物質無し

A B のコロニーの数と C D のコロニーの数を比較したところ有意な差は確認できなかったがコロニーの大きさは CD の方は AB の半分くらいのサイズだった。

3-2. 実験②, ③の結果

LB 培地の濃度の違いによる明確な増殖速度の違いは確認されなかった。

1 シャーレあたりのコロニーのサイズと個数を測定したところ, LB 培地の濃度に関わらず負の相関が見られた。(図 3, 表 1)

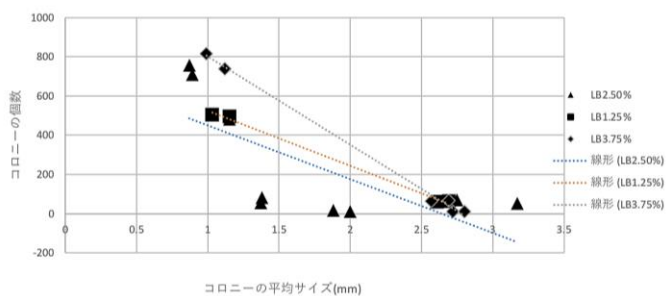


図 3. コロニーのサイズと個数の関係

表 1. LB 濃度ごとのサイズと個数の相関係数

相関係数	LB1.25%	-0.717
	LB2.50%	-0.998
	LB3.75%	-0.998

大腸菌溶液を分光光度計で濁度を測定し, 全ての実験で一定にしてから希釈し培養した. 3.75%の方が増殖速度が速かった。

1.0×10^5 倍希釈のもの(シャーレあたりのコロニーの数が 500~800 のもの)は 2 日経つとコロニーの成長(大腸菌の増殖)が完全に停止した. 10×10^6 倍希釈のもの(シャーレあたりのコロニーの数が 50~80 のもの)は 1 週間で完全に停止した. 10×10^7 倍希釈のもの(シャーレあたりのコロニーの数が 10 個くらい)は 2 週間経ってもコロニーは大きくなり続けていた。

培養を始めて 1 週間後から大腸菌にサテライトコロニーかカビが生えてきた(以下粒と呼ぶ)



図 4. 粒がついた大腸菌の様子

A と C が 2 週間後 B が 1 週間後

2 週間を超えたあたりから上の写真のようにコロニーにつぶつぶがつくようになった。

3.75%のものは栄養過多でコロニーがぼやけてしまうことがあった。

表 2. pH を測定した時の結果

項目	pH
大腸菌溶液	7
培養後の培地	8
LB溶液	7
培養後の培地(上半分)	8
培養後の培地(下半分)	7.5

コロニーの部分を取り取り, コロニーのない部分を電子レンジで溶かし, pH を測定す

ると8だった。また、大腸菌を培養する前の培地を溶かして測定したときのpHは7だった。培養した培地と同じようにインキュベーターとオートクレーブにかけた培地のpHも7であった。

3-4. 実験④の結果

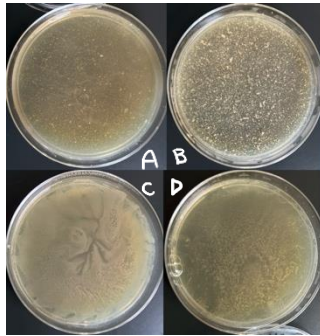


図 5. 培養した後の培地の様子

A, Bが阻害物質あり C, Dが阻害物質無し

阻害物質が入っている方は大腸菌のコロニーを確認することはできなかった。阻害物質の入っていない方はシャーレ全面に大腸菌のコロニーを確認することができた。

阻害物質入りのものにカビが生えてしまった物があつた。コロニーは1cmくらいのものになっていた。

3-5. 実験⑤の結果

24時間培養したものはコロニーも周りのpHが7.5, その周り1cmが7.75, それ以外の部分が7であつた。7時間培養したものはコロニーの周りのpHが7.5, その周り1cmとそれ以外の部分は7であつた(図6)。

4. 考察

実験①の結果から大腸菌が育つた後の培地では大腸菌の成長を遅くする物質が入っているもしくはグルコースの構造を変化させるものが入っているのではないかと考えられる。しかし培養後の培地のLBの濃度がわかっていないのでその効果がどれほどのものか数値化することはできなかった。121°Cまでは耐

熱性がある可能性があると考えられる。実験②のコロニーの平均サイズの結果から1.25%~2.75%のLB濃度の時は大腸菌の増殖に影響を与えないと言える。コロニーの平均サイズとコロニーの平均数には負の相関が見られた。コロニー密度が高いとコロニーの大きさが抑えられることから、大腸菌の増殖により、コロニーの大きさを抑える因子が大腸菌から産生される可能性が示唆された。また、シャーレの中でも密度が高いところと低いところでコロニーの大きさが違うことから一つのシャーレの中で大腸菌のコロニーが互いに阻害物質を出し合い多数のコロニーがあるとより多くの阻害物質が存在するため育ちにくくなると考えられる。実験③の結果よりLBが3.75%ほどになると大腸菌の増殖スピードが上がるため、阻害物質が寒天内に拡散するより前にコロニーがより大きくなるから大きさに差が出た考えられる。また、コロニーの数が多いと、少ない場合に比べて同じ時間あたりに産生される阻害物質の量も多くなるため、コロニーの成長が完全に止まるまでの時間は短くなる可能性があると考えた。大腸菌を培養した培地は、培養していない培地よりもpHが高かつたため、阻害物質はアルカリ性である可能性があると考えた。また、大腸菌以外の菌が入っていたときにはコロニーができていたので他の菌に対する阻害効果はあつたとしてもかなり小さいものだと考えられる。

実験⑤より阻害物質がアルカリ性である場合シャーレ内に拡散するにはある程度の時間がかかるという可能性が示唆され、アルカリ性でない場合は阻害物質を産出するまでに時間がかかっていたという可能性がある。また、時間が経過しコロニーの肥大が止まった時でも寒天内の阻害物質の量はコロニーのあるところとないところでは違うということがわかつた。

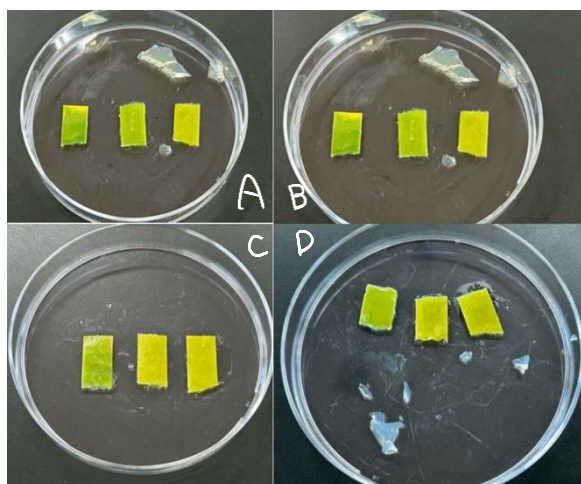


図 6. 測定後の万能試験紙の様子

A, B が 24 時間培養後 C, D が 7 時間培養後

A, B が 24 時間培養後 C, D が 7 時間培養後

左から順に、コロニーの周り/その周り 1cm/その外側を示す。

5. まとめと今後の課題

阻害物質は大腸菌の増殖を止めるものでありそれはアルカリ性である可能性がある。また、LB 濃度が 2.75%を超えると増殖スピードが速くなり最終的なコロニーのサイズが大きくなる。また、阻害物質の効果を数値化するために大腸菌が成長する際、LB の養分をどれくらい使ったのかを明らかにできるようにしたい。

阻害物質が酸性で増殖を止めるものと言うことはわかったが、それは大腸菌の栄養とするグルコースの立体構造を変化させているために起こっているものなのか、至適 pH でないために増殖しないようになっているのか調べたい。

大腸菌を 2 週間以上培養した時に出てくる粒々はサテライトコロニーのようなものなのかそれともそうではない新たな菌なのか調べ

たい。

大腸菌が出す阻害物質がどのくらいのスピードで寒天内を拡散するのかやその効果はどれくらいなのか数値化したい。

6. 参考文献

- 1)中山大樹・多田靖次, 1958, 細菌等の発育阻害現象について. 日本農芸化学会誌, 33, 2, 133-137

スナゴケの断熱性能の簡易的な測定

～ 環境に優しい断熱材としてのスナゴケの可能性 ～

上野 瑠海 櫻井 陽斗 山本 実和 若山 蒼

要旨

本研究では優れた保水性と耐候性を持ち、近年壁面緑化にも活用されているスナゴケ (*Racomitrium canescens*) が、その特徴を活かしてどの程度の断熱性能があるかを測定した。断熱した容器に設けた放熱板上にスナゴケを敷き詰め、容器内の気温と室温との温度差を一定に維持するために必要な熱量を測定することにより断熱性能を簡易的に測定することを試みた。結果、スナゴケには断熱性能があると確認できなかった。

1. はじめに

コケのシートの内部には空気と適度な水分が含まれている隙間が存在するため断熱効果があるとされ¹⁾、実用化もされている。先行研究では、コケを敷き詰めた区間とシバを敷き詰めた区間、そして無処理の区間では、日中の底面温度はコケ区間の方がシバ区間よりも高かったが、無処理の表面温度よりは低かったことが報告されている。また、コケ区間の底面温度はシバ区とほぼ同温度で全体で最も低かったことが分かっている。コケ区は内部温度も低かったことから、スナゴケ自体の断熱性が高いものと考えられるとされている²⁾。

私たちはスナゴケの断熱性能を通常の断熱材の性能試験を参考に、スナゴケによって区切られた二つの空間のうち片方を加熱し温度差を一定に維持し続けるために必要な単位時間あたりの熱量を測定し、その他の材料と断熱材としての性能を比較できると考え、実験を行った。

優れた断熱効果を持つ発泡スチロールの容器と、その上面の一定の区間を熱伝導性の高い銅板に変え、その上にスナゴケを敷き詰めた容器の内部の空気をシートヒーターで熱し、外気温よりも装置内の温度が 10℃高くなるために必要な単位時間あたりの熱量を測定する。

スナゴケが断熱性を持つとするならば、発泡スチロールのみの容器で実験した際と、上部の素材を変更した際で同じくらいの単位時間あたりの熱量が必要になると考えられる。よって、私たちは、どちらの実験に関してもほぼ同程度の熱量が必要になると仮説を立てた。

2. 材料・研究方法

2-1. 研究試料

- ・スナゴケ
- ・発泡スチロール板 (縦 225mm, 横 300mm, 厚さ 29mm) 4 枚
- ・接着剤
- ・銅板 (厚さ 0.5mm)
- ・シートヒーター (40Ω)
- ・電源装置
- ・直流電流計 (UCHIDA TM-50 500mA)
- ・温度計

2-2. 実験の方法

発泡スチロール板のうち3枚に一辺 100mm の正方形の穴をあけ、うち 2 枚を接着し、断熱容器の中間部分とする。穴を開けていない発泡スチロール板の中央にシートヒーターを配置し、これを

断熱容器の底面とし、中間部分と結合し、穴を銅板で覆って放熱板とした。

放熱板の周囲からの放熱を防ぐため、上面(放熱板側)に穴をあけた発泡スチロール板を接着した(図 1)。

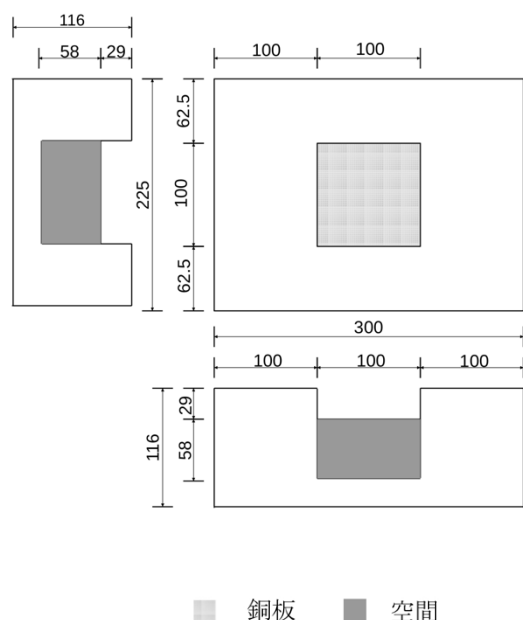


図 1. 断熱容器の三面図

条件を次のように変えて、操作 A を行った。

実験(1) 放熱板上にコケを敷き詰める。

実験(2) 何も置かない。

実験(3) 箱の上面の、放熱板上の穴を、穴の深さと同じ大きさの発泡スチロールで塞ぐ。

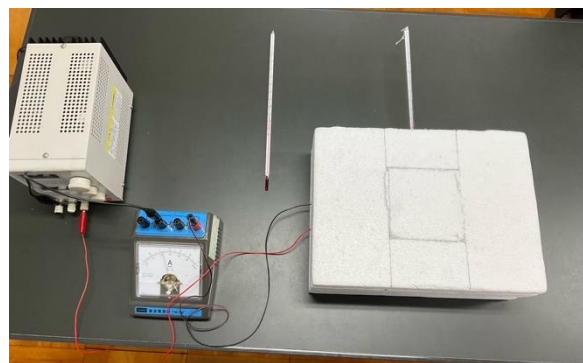


図 2. 実験装置の様子

操作 A : シートヒーター、直流電流計を電源装置

と直列に繋いだ(図 2)。

温度計の球部が銅板から 20mm 下、空間の横の長さの midpoint になるように温度計を差し込んだ。

箱の中に空けておいた空間の温度と、外気温との温度差が摂氏 10 度に保たれるようシートヒーターで熱するのに必要な電流、電圧を計測した。

このとき、室温を計測する温度計と装置内の温度を計測する温度計は、同じ環境下においた時に温度差がないものを選んだ。

3. 結果

3-1. 実験(1)の結果

初回に行った実験では、室温が 13.3°C であったのに対して装置内の温度が 23.3°C で維持されるように電流と電圧を調節した。159mA, 6.0V に設定したとき、装置内の温度が 23.3°C で一定になった。

2 回目に行った実験では、室温が 13.3°C であったのに対して装置内の温度が 23.3°C で維持されるように電流と電圧を調節した。147mA, 5.7V に設定したとき、装置内の温度が 23.3°C で一定になった。

3 回目に行った実験では、室温が 13.5°C であったのに対して、装置内の温度が 23.5°C で維持されるように電流と電圧を調節した。155mA, 6.0V に設定したとき、装置内の温度が 23.5°C で一定になった(表 1)。

3-2. 実験(2)の結果

初回に行った実験では、室温が 13.8°C であったのに対して装置内の温度が 23.8°C で維持されるように電流と電圧の大きさを調節した。158mA, 6.0V に設定したとき、装置内の温度が 23.8°C で一定になった。

2 回目に行った実験では、室温が 13.9°C であったのに対して装置内の温度が 23.9°C になるように電流と電圧を調節した。172mA, 6.6V に設定したとき、装置内の温度が 23.9°C で一定に

なった。

3 回目は室温が 18.0℃であったのに対して装置内の温度が 28.0℃になるように電流と電圧を調節した。155mA, 6.1V に設定したとき、装置内の温度が 28.0℃で一定になった（表 1）。

3-3. 実験(3)の結果

初回に行った実験では、室温が 13.8℃であったのに対して装置内の温度が 23.8℃で維持されるように電流と電圧の大きさを設定した。151mA, 5.7V にしたとき、装置内の温度が 23.8℃で一定になった。

2 回目に行った実験では、室温が 18.5℃であったのに対して装置内の温度が 28.5℃で維持されるように電流と電圧の大きさを設定した。144mA, 5.7V に設定したとき、装置内の温度が 28.5℃で一定になった。

3 回目に行った実験では、室温が 18.0℃であったのに対して装置内の温度が 28.0℃で維持されるように電流と電圧の大きさを設定した。145mA, 5.7V に設定したとき、装置内の温度が 28.0℃で一定になった（表 1）。

表 1.各実験における室温と単位時間あたりの熱量

各実験の室温,単位時間あたりの熱量とその平均

		1回目	2回目	3回目	J/sの平均
実験(1) コケ	J/s	0.95	0.84	0.93	0.91
	室温(℃)	13.3	13.3	13.5	13.4
実験(2) 銅板	J/s	0.95	1.1	0.95	1.0
	室温(℃)	13.8	13.9	18.0	15.2
実験(3) 発泡スチロール	J/s	0.86	0.82	0.83	0.84
	室温(℃)	13.8	18.5	18.0	16.8

4. 考察

上記の実験では、放熱板上に何も置かない場

合と、スナゴケを敷き詰めた場合では、容器内と外部の温度差維持のために必要な単位時間あたりの熱量の平均値に 0.09J/s の差が見られた。

しかし、実験(1)のスナゴケを敷き詰めた場合と実験(2)で銅板を完全に露出させた場合の結果の中央値では 0.02J/s しか差が見られず、これは有意な差とは言えない。

また、実験(1)、実験(2)共に 2 回目における結果と 1,3 回目との間に、1 回目と 3 回目の差に対して極めて大きい差が見られ、2 回目が外れ値である可能性があるが、試行回数が少なすぎるため判断ができない。

従って、実験(1)と(2)の間の平均値の差は十分に大きいものの、それによってはスナゴケの断熱性能が確認できたとは言えないと考えられる。

また、放熱板上にスナゴケを敷き詰めたときと、放熱板の上の穴を発泡スチロールで塞いだときでは、平均して 0.07J/s の熱量の差があった。この差はスナゴケと発泡スチロールの断熱性能の違いを表していると考えられる。

したがって、スナゴケは発泡スチロールの断熱性能には劣るものの、断熱性能を持つ可能性がある。また本実験ではスナゴケを乾燥させた状態で使用したが、水を含ませることによってスナゴケはその密集した群生の内部に水分を溜め込むことができる。さらに、コケ類はクチクラ層も発達していないため簡単に水分を吸収する。それにより、スナゴケ自体やスナゴケの密集した群生に含まれる空気だけでなく水分が持つ断熱効果も発揮されるのではないかと推測される。断熱材としての性能をより高めることができると考えられる。

5. まとめと今後の課題

本研究ではスナゴケに十分な断熱効果があることを確認できなかった。

課題としては、サンプル数の不足、実験装置の

断熱材として用いた発泡スチロールの断熱性能の不足,電流計や電源装置などの測定器具の正確性の低さなどが挙げられる。

今後,スナゴケの水分量を変化させることで必要な熱量を測定するなど,スナゴケの状態を変化させることでどのような差が生まれるのかを計測したい。

6. 参考文献

- 1) 池田将人,2015.02.04, HAPPY MOSS
BLOG 「苔は地球温暖化の抑制に貢献している」,
<https://happymoss.com/blog/kokenituie/kiji655/>,2025.02.07
- 2) 横山仁・上野卓哉・吉岡恒太・門屋真希
子・成田健一,2012,コケを用いた軽量薄層型
屋上緑化の温熱特性.東京都環境科学研究所年
俸 2012,180-183

使い捨てカイロを用いた生活排水の水質浄化

青山澄華 藤川真綾 伏木奈々子

要旨

使い捨てカイロに含まれる活性炭には有機物を吸着する特性がある¹⁾が、使用後の再利用方法については研究が進んでおらず、そのまま可燃ゴミや不燃ゴミとして廃棄されることが多い。そこで、カイロの特性を利用し、米の研ぎ汁を用いて、生活排水の水質浄化が可能か検証した。河川の水質検査で広く用いられる化学的酸素要求量(以降 COD)・動植物油脂(以降油)・富栄養化を引き起こすリン酸を環境負荷の指標として用い、カイロで研ぎ汁を濾過する前後における3つの指標でのパックテストを行った。3種類の実験の結果から、使い捨てカイロに含まれる活性炭には一定の水質浄化作用があることが示された。

1. はじめに

使い捨てカイロは主に鉄粉・活性炭・水・塩・バーミキュライトから構成されている²⁾。発熱原理は、空気中の酸素とバーミキュライトに含ませた水が、カイロ内の鉄粉と反応し、鉄粉が酸化する際に発生する酸化熱に基づいており、活性炭は有機物を吸着する作用を、塩は酸化反応を活性化させる触媒としての働きを持っている。

一般的に、使い終えたカイロは各自治体の指示に従い可燃ゴミまたは埋め立てゴミとして廃棄されており、二酸化炭素を発生させる焼却炉でのゴミ処理や、有害物質が雨水により地下に浸透する埋め立ては環境に負荷を与えている。また、近年、有機物や汚濁物質を含んだ生活排水が海や川に流れ込むことで環境に与える影響についても懸念が高まっている。

よって本研究では環境負荷を削減するための方法として、使用済みカイロを用いた濾過装置を介して生活排水を処理し、濾過前と比較して環境に負荷を与える可能性のある成分を減少させることを目的とした。測定方法としてはパックテストを使用し、COD・動植物油脂(油)・リン酸の3種類を対象とした。

事前実験として使用済みカイロをそのまま使用した濾過装置で濾過を行ったところ、CODの値の

み増加する結果になった。これはカイロに含まれる未反応の塩化物イオンが、濾過過程でCODに影響を及ぼした可能性があると考えられる。したがって本実験では、残留する塩分を除去するためにカイロを水で洗浄したもの、乾いた状態で比較するために水で洗浄したのちにホットプレートで熱したものの2種類を用意した。

2. 材料・研究方法

2-1. 研究試料

本研究では、有機物であるリン酸やタンパク質を多く含み、かつ家庭で生活排水として流されやすい米の研ぎ汁を濾過対象とした。主な研究材料は米の研ぎ汁、使用済みのカイロ、パックテスト(COD, 油, リン酸)、主な実験器具はろうと台、ろうと、ろ紙、ビーカー、ガラス棒である。また、実験1-1では主な材料、器具以外にペットボトル、綿を使用した。実験1-2では主な材料、器具以外に半径1cmの円が底面である長さ50cmの十分に長い透明でプラスチック製のパイプ、綿、洗浄用の容器、ホットプレート、アルミホイルを使用した。実験2では主な材料、器具以外に活性炭、洗浄用の容器、ホットプレート、アルミホイル、タイマーを使用した。

2-2. 研究方法

<実験 1-1>

綿で口部分を閉じたペットボトルに使用済みカイロをつめ、ろうと台で装置を固定して濾過装置とした³⁾。カイロと米の研ぎ汁の質量比は 1:2(今回は 50g : 100g)とし、米の研ぎ汁を濾過装置に通した後、パックテストの結果を視覚的にわかりやすくするため、再度濾過を行い、得た溶液を用いて 3 種類のパックテストを行った。本実験では、試料としての性質が等しく、採取日が異なる米の研ぎ汁①②においてこの操作を行い、濾過後の液体をそれぞれ濾過後の試料①②とした。この実験では、カイロと研ぎ汁の質量による濾過効果の違いを調べた。

<実験 1-2>

洗浄用容器を用いてカイロを水道水で十分に洗浄し、水洗い済みのカイロを用意する。次に 160℃に熱したホットプレート上でアルミホイルを用いて水洗い済みのカイロを水分が蒸発するまで熱し、次の 2 つの試料を準備した。

(ア) 通常の使用済みカイロ

(イ) 水道水で洗浄したのち熱したカイロ

カイロと研ぎ汁の体積比を 1:2(今回は 6π cm³:12π cm³)に設定した。計量したカイロを、綿で口部分を閉じたパイプに詰めてろうと台に固定し、上部から研ぎ汁を注入した。本実験では、試料としての性質が等しく、採取日が異なる米の研ぎ汁③④においてこの操作を行い、濾過後の液体をそれぞれ濾過後の試料③④とした。実験 1-1 と同様に再度ろ紙を用いて透明度が高まるまで濾過を行い、3 種類のパックテストを行った。この実験ではカイロと研ぎ汁の体積による濾過効果の違いを調べた。

<実験 2>

洗浄用容器を用いてカイロと活性炭を十分に洗浄し、水洗い済みのカイロと活性炭を用意する。次に 160℃に熱したホットプレート上でアルミホ

イルを用いて水洗い済みのカイロと活性炭を水分が蒸発まで熱し、次の 4 つの試料を準備した。

(ウ) 通常の使用済みカイロ

(エ) 通常活性炭

(オ) 水道水で洗浄したのち熱したカイロ

(カ) 水道水で洗浄したのち熱した活性炭

カイロ又は活性炭と米のとぎ汁の体積の比を 1:2(今回は 6π cm³:12π cm³)とし、前述の③～⑥の試料を米の研ぎ汁が入ったビーカーに入れて 10 分経過後ガラス棒で攪拌した。更に 10 分経過後、実験 1-1, 2 と同様に、透明度の向上を目的に再度濾紙を用いて濾過を行い、3 種類のパックテストを行った。この実験では、カイロと活性炭の有機物吸着性能の違いを調べた。

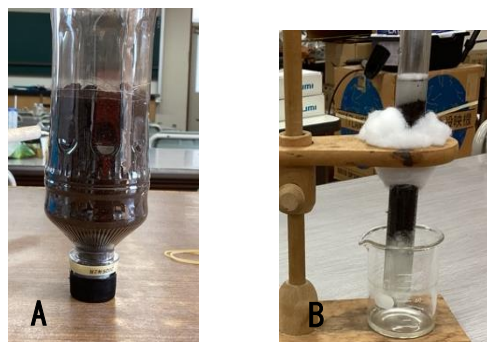


図 1. 実験で用いた濾過装置

A : 実験 1-1 で使用した濾過装置

B : 実験 1-2 で使用した濾過装置

3. 結果

それぞれの実験で得られた液体のパックテストの結果は次のようになった。なお、表中のパックテストの値の減少量を次の例のように記載するものとする。

例) 米の研ぎ汁①をカイロ (ア) で濾過した際のパックテストの値の減少量 : 減少量① (ア)

表 1. 実験 1-1 におけるパックテストの値

	COD (mg/L)	油 (mg/L)	リン酸 (mg/L)
米の研ぎ汁 ①	100	100	1
濾過後の試 料①	100	5	0.2
減少量①	0	95	0.8
米の研ぎ汁 ②	100	100	1
濾過後の試 料②	75	10	0.35
減少量②	25	90	0.65

表 2. 実験 1-2 におけるパックテストの値

	COD (mg/L)	油 (mg/L)	リン酸 (mg/L)
米の研ぎ汁 ③	100	100	1
(ア)による 濾過後の試 料③	50	75	1
減少量③ (ア)	50	25	0.0
(イ)による 濾過後の試 料③	35	50	0.5
減少量③ (イ)	65	50	0.5
米のとぎ汁 ④	100	150	0.75
(ア)による 濾過後の試 料④	20	20	0.2
減少量④ (ア)	80	130	0.5

(イ)による

濾過後の試 料④	50	50	0.5
減少量④ (イ)	30	80	0.0

表 3. 実験 2 におけるパックテストの値

	COD (mg/L)	油 (mg/L)	リン酸 (mg/L)
米の研ぎ汁	100	150	0.75
(ウ)と米の 研ぎ汁	100	150	0.35
減少量(ウ)	0	0	0.4
(エ)と米の 研ぎ汁	100	150	0.35
減少量(エ)	0	0	0.4
(オ)と米の とぎ汁	100	150	0.1
減少量(オ)	0	0	0.65
(カ)と米の 研ぎ汁	100	75	0.5
減少量(カ)	0	75	0.25

3-1. 実験 1-1 の結果

油のパックテストの値は①の場合には 95%, ②の場合には 90%の減少と, 安定した減少率を確認することができ, 濾過による減少が高く見られた. リン酸のパックテストの値は①の場合には 80%, ②の場合には 65%と減少に少し幅はあるものの, 濾過によるリン酸の減少が見られた. COD のパックテストの値は①の場合には 0%, ②の場合には 25%の減少がみられたことから, 他の成分の測定結果と比較してもあまり良い結果は得られなかった.

3-2. 実験 1-2 の結果

COD のパックテストの値は (ア) による濾過後の試料のものが③では 50%, ④では 80%

減少した。使用済みカイロをそのまま実験に使用した際にCODの値が増加したことは事前実験の結果とは矛盾したものとなった。また、(イ)では③の時65%、④の時30%の減少が見られた。油のバックテストの値は、割合で見ると(ア)では③の時は濾過前と比較して25%の減少に留まったに対し、④の時はおよそ87%の減少がみられたことより、大きな差が生じる結果となった。しかし(イ)では③の時は50%の減少、④の時はおよそ53%の減少、と安定した結果を得られた。リン酸のバックテストの値は(ア)では③の時は数値の減少は一切見られなかったが、④の時はおよそ66%の減少が見られた。また(イ)では③の時は50%の減少、④では一切の減少が見られなかった。また、濾過にかかる時間を比べると、米の研ぎ汁③を使用済みカイロで濾過した際には濾過が半分まで進んだところで濾過ができなくなり、洗って熱したカイロでは米の研ぎ汁③④を濾過した際には濾過の完了までに約30分かかっていた。米の研ぎ汁④を通常の使用済みカイロで濾過するには濾過が半分進むまでに約2時間かかっていた。

3-3. 実験2の結果

CODのバックテストの値は(ウ)、(エ)、(オ)、(カ)の全てにおいて一切の変化が見られないという結果となった。油のバックテストの値は(カ)の時のみ50%の減少が見られたが、それ以外の条件のものは一切変化が見られなかった。リン酸のバックテストの値は全ての条件で減少しており、(ウ)(エ)では53%、(オ)ではおよそ87%、(カ)ではおよそ33%の減少が見られた。

4. 考察

実験1-2において、濾過にかかる時間を比較すると米の研ぎ汁④を通常の使用済みカイロで濾過する際にかかる時間は他の濾過方法よりも長く、米の研ぎ汁が使い捨てカイロと接している時間が

最も長くなったことで実験1-2におけるCODと油の濾過後の減少量が一番多くなったのではないかと考えられる。また米の研ぎ汁③に関しては、水道水で洗浄したのち加熱したカイロによる濾過を行った米の研ぎ汁のバックテストの値は、COD、油、リン酸の全てにおいて通常の使用済みカイロで濾過した値よりも小さく、減少量が多かった。また、活性炭を気相の飽和状態で使用した場合、100℃～150℃に加熱した水蒸気を吹き付けることで、液相で使用した場合は活性炭を750℃～1100℃の温度で反応させることで取り込んだ有機物を放出し、再利用が可能になることがわかっている⁴⁾。これらのことから、固体の活性炭を含むカイロは水道水で洗浄したのちに160℃で加熱することで有機物を放出することが示唆される。

実験2の全体の値の結果において、安定した減少が見られなかった理由としてカイロが沈殿していたことによって、一度攪拌はしたもののカイロと研ぎ汁との接する面積がこれまでの実験と比較して小さかった、ということが考えられる。

5. まとめと今後の課題

全ての実験の結果から、使い捨てカイロには一定の水質浄化作用があることが明らかになった。しかしながら、未反応の塩化物イオンを水で洗い落とすことでCODの値を低減させることができるという仮説に関しては、統計的に有意な結果を得ることはできなかった。

課題としては、濾過にかかる時間や濾過器を製作するまでの過程に時間がかかりすぎてしまうことが挙げられるため、濾過装置の製作に要する時間の短縮や濾過器を製作工程の効率化が求められる。濾過装置また、カイロの処理方法による濾過効果に大差がなかったことが挙げられるため、濾過にかかる時間が最も短く、確実に濾過を完了させることができる、水道水で洗浄したのち加熱したカイロに着目した実験を進めていく必要がある。本実験で生活排水の水質浄化に一定の有効性がみられるカイロでも限界がみられた。環境保全

には、多角的な視点をもった取組を進めるべきである。

6. 参考文献

- 1) 山下博史, 1990 年, 活性炭の一般特性と用途について. 資源処理技術, 37 巻, 2 号, p.82-86
- 2) 小林製薬, 2021 年, カイロのすべて, <https://www.kobayashi.co.jp/brand/kiribai/trivia/detail01.html>
- 3) 炭谷恭彦, 1990 年, ペットボトルを用いる簡易浄水器とその性能(身近な環境を考える理科実験). 科学と教育, 47 巻, 4 号, p. 266-267
- 4) テクノスナカタ, 活性炭とは, <https://technos-nakata.com/products/house/kasseitan>

性格診断におけるバーナム効果の影響

～若年層の性格診断への依存理由と心理的役割を解明する～

富田莉子 中居美結

要旨

本研究では、認知バイアスの一種であるバーナム効果に焦点を当て、バーナム効果が強く現れる条件を明らかにし、若年層の性格診断におけるバーナム効果の影響、またバーナム効果と超常現象の受容性の関係を検証する。洛北高校及び附属中学校の生徒にアンケートを実施した結果、ポジティブな表現でのアンケートがバーナム効果の発生を促進する一因となること、男子に比べ女子の方がバーナム効果を受容しやすいことが明らかになった。一方、バーナム効果の受け入れやすさと超常現象の信じやすさには明確な相関関係は確認できなかった。

1. はじめに

性格診断、星座占いなど、たくさんの診断や占いが私達の周りにあふれている。SNS で手軽に受けられ、話題性に富むことから若者にも人気が高い。一方、診断結果には科学的な根拠が乏しいといわれているのにも関わらず、なぜ占いや診断にハマる人が多いのか、その理由と診断・占いの役割を探る。また、診断・占いの信憑性が高くなることで、占いにハマると考えられるため、認知バイアスの一種であるバーナム効果に着目し、信憑性を高める要因を探る。

バーナム効果とは、誰にでも当てはまるような内容であるにも関わらず、自分だけに当てはまるかのように感じてしまう心理的現象を指す。この現象は、自己肯定感や他者との関係に関する期待が強い状況下で特に顕著に現れるとされている¹⁾。

人は自分に対してポジティブな情報に強く反応する「ポジティブ・バイアス(楽観性バイアス、BP)」を持ち、自己に対する肯定的な情報を優先的に取り入れることで自己評価を守り、向上させようとする傾向がある。そのため、性格診断の質問においてポジティブな表現で

質問した方がバーナム効果は起こりやすいと予想した。

また、バーナム効果を受けやすい人と超常現象を信じやすい人の両者の共通点として、曖昧な情報を受け入れやすく、批判的に考えるよりも直感や感情で判断する傾向があることや、無関係な事象に意味を見出す「パターン認識バイアス」を持つ傾向があることが挙げられる。そのため、バーナム効果を受けやすい人は超常現象を信じやすいと予想した。

2. 調査方法

本研究では、洛北高校および附属中学校の生徒 161 名を対象にアンケート調査を実施した。

2-1. アンケート調査①

2-1-1. アンケート内容

仮の血液型性格診断用紙を作成し、被験者にすべての血液型の性格特性の中で自己の性格に該当する項目に○を記入し、被験者の血液型も回答するよう求めた。性格診断表に関して、長所として解釈される表現を用いたアンケート群(84 人)と、短所として解釈される表現を用いたアンケート群(77 人)の 2 つの集

団に分けて実施した。性格診断表は、以下の表1および表2に示した通りである。

表1. 性格診断表(ポジティブな表現)

A型の性格特性	B型の性格特性
根拠に基づいた考え方である	目的のためなら頑張れる
分析を好む	行動力がある
社会参加・貢献を望む	洞察力がある
人間関係の調節が巧み	負けず嫌いである
感情のコントロールが上手い	ロマンチックである
仲間内では熱く語る	仲間意識が強い
自分に自信を持っている	実現できるかどうか見極めることができる
多趣味である	自己表現が上手い
対人関係は開かないようにする	細かいことにこだわらない
経済能力・生活力がある	仲間には警戒しない
O型の性格特性	AB型の性格特性
誰にでも心を開くことができる	責任感が強い
行動に移すのが早い	人間関係の平穏を望む
判断は正確さを重視する	ルール、慣習を尊重する
興味、関心のあることに重点を置く	危険な状況には参加しない
縛りに囚われない	客観的に物事を見ることができ
集中力がある	慎重である
物事の判断がつきやすい	几帳面できっちりしている
過去のことをよく振り返る	継続力がある
将来に思い悩まない	何かの役に立つことに生きがいを感じる
感性が豊かである	白黒・善悪のけじめをつける

表2. 性格診断表(ネガティブな表現)

A型の性格特性	B型の性格特性
融通が効かない	目的がはっきりしないときはやる気がなくなる
物事を嘘ではないかと考えがちである	欲望がストレートに行動に出る
目的のために自分の気持ちを後回しにする	力関係を敏感に意識する
人の好き嫌いが激しい	勝ちにこだわる
家の外では感情を抑える	理想主義である
仲間内では感情的になりやすい	敵味方を分ける傾向がある
プライドが高い	現実思考である
趣味が多く、没頭することがない	自己主張が強い
対人関係に関わるのは面倒くさい	大胆である
お金に細かい	仲間以外には警戒心が強い
O型の性格特性	AB型の性格特性
人との距離がわからない	1人で抱え込んでしまうことが多い
考えるより先に行動する	周りに気を遣いすぎる部分がある
判断は速さを重視しない	しばりにとらわれやすい
興味、関心のないことには触れない	行動や表現が消極的である
慣習・ルールを気にしない	人からの評価を気にしがちである
いったん夢中になると他のことが目に入らなくなる	心を開くのが遅い
好き嫌いがはっきりしている	完璧主義である
過去にこだわるがち	諦めが悪い
将来のことに危機感がない	おせっかいである
感情の振れ幅が大きい	物事を善悪で判断しがちである

2-1-2. 結果処理法

結果の処理は以下の手順に従って行った。

- ① 被験者の血液型の性格特性の○の数を数えた。
- ② 被験者の血液型以外(3タイプ)の性格特性の○の数を数え、3で割って平均を求めた。
- ③ (①で出た数)-(②で出た数)を計算した。以降、この値を「バーナム効果指数」と呼称する。
- ④ 「バーナム効果指数」が正の数なら「バーナム効果を受けた」、負の数なら「バーナム効果は受けなかった」とした。

2-2. アンケート調査②

アンケート調査①の用紙の裏面に、以下の質問項目(1~13)を記載し、被験者に回答を求めた。得られたデータとアンケート調査①で得たバーナム効果指数を比較し、分析および考察を行った。

質問1. あなたの性別を教えてください。

質問2. 今回の診断についてどれくらい当てはまると思えますか。

質問3. 今回の診断の信頼度はどれくらいですか。

質問4. このような診断をまたやりたいですか。

質問5. あなたの思考は直感的、論理的どちらに近いですか。

質問6. あなたは想像力が豊かだと思いますか。

質問7. あなたは不安な出来事があった場合、誰かに相談しますか。

質問8. あなたは自分の将来について、自分で切り拓きたいと思いますか。

質問9. あなたは占いや診断をしますか。(1:全くしない 2:年に数回 3:月に一回 4:週に一回 5:毎日)

質問10. (質問9で1と答えた人対象)あなたが占いや診断をしない理由はなんですか。(複数選択可)

- ①信じられないから
- ②科学的でないから
- ③単純に嫌いだから
- ④触れる機会がないから
- ⑤結果に左右されるのが嫌だから
- ⑥その他

質問11. (質問9で2~5と答えた人対象)あなたが占いや診断をする理由はなんですか。(複数選択可)

- ①友達に誘われたから
- ②習慣になっているから
- ③話のネタになるから
- ④自分に自信がないから
- ⑤好きだから
- ⑥不安を解消するため

- ⑦行動を起こすきっかけにするため
- ⑧その他

質問12. あなたに当てはまるもの、したことがあることを選んでください。(複数選択可)

- ①お守りを買う
- ②ジンクスやゲン担ぎをする
- ③初詣や受験祈願に神社に行く

- ④性格診断で人との相性を確かめる
- ⑤幽霊や心理現象を信じている
- ⑥UFO を信じている

質問 13. 占いや診断で得られた結果やアドバイス通りに行動しますか。

ただし、質問 2～4 については 11 段階で回答、質問 5～8, 13 については 5 段階で回答とした。また、質問 13 では、被験者が占いや診断で「良い結果」を得た場合と「悪い結果」を得た場合に分け、それぞれの状況において結果やアドバイス通りに行動するかについて質問を行った。

3. 結果・考察

ポジティブな表現を用いた条件において、バーナム効果を受けたと考えられる被験者の割合は、ネガティブな表現を用いた条件と比較して 10%高い結果が得られた（図 1）。

この結果は、ポジティブな表現がバーナム効果の発生に与える影響を示している。ポジティブな表現は、受け手に肯定的な印象を与えやすく、自分に当てはまると認識させる傾向があると考えられる。また、ポジティブな表現が自己肯定感を高め、情報を受容しやすくする心理的效果が影響していると考えられる。一方で、ネガティブな表現は受け手に否定的な感情や警戒心を抱かせることで、情報に対する批判的思考を促し、バーナム効果の発生を抑制する方向に働いた可能性が考えられる。

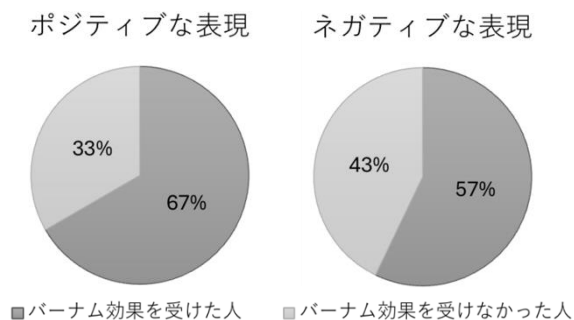


図 1. 質問の表現とバーナム効果の関係

また、図 3 に示すように男女ともに多数がバーナム効果の影響を受けたことが確認されたが、女子においてその割合が男子よりも 10%高いことが示された。

このことから、バーナム効果の影響には性差が存在し、女子の方が男子に比べてバーナム効果を受けやすい傾向が示唆された。

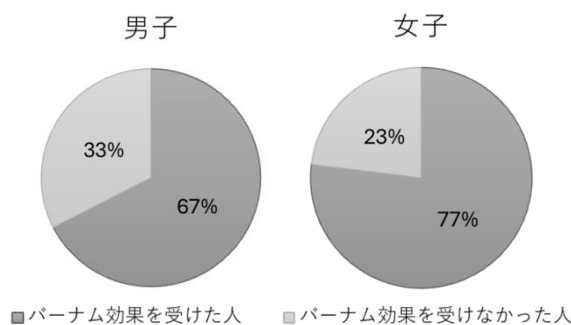


図 2. 性別とバーナム効果の関係

占いや診断をする理由として、最も多かったものは「友達に誘われたから」であり、全体の 34%を占めた。次いで「話のネタになるから」という理由が 28%と高い割合を示した。一方、「好きだから」という内的な動機に基づく回答は 17%だった（図 3）。

これらの結果から、占いや診断が他者とのコミュニケーション手段として活用される傾向が強いことが示唆される。また、「好きだから」という内的要因も一定の割合で存在しており、趣味や興味として占いを行う人も少なくないことが分かる。さらに、日常生活の中で占いや診断が習慣化されていたり、自己肯定感の補強にされていたりするなどの役割も存在していることがみてとれる。

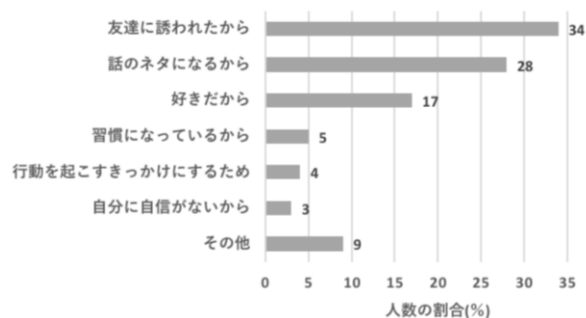


図 3. 占いや診断をする理由

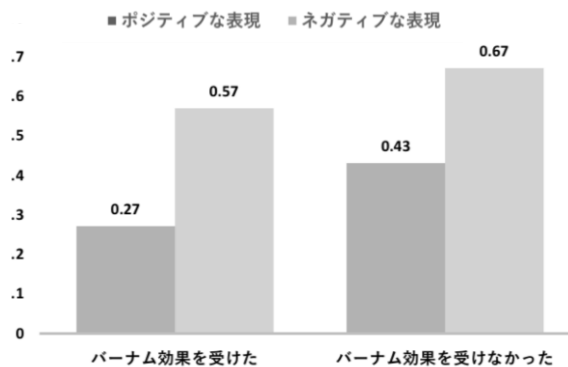


図 4. バーナム効果の感受性と超常現象の受容性との関係

「バーナム効果を受けやすい人は超常現象を信じやすいのではないか」という仮説を検証するために、バーナム効果を受けたと考えられる群とバーナム効果を受けなかったと考えられる群に分け、アンケートの質問 12 の選択肢である、「幽霊や心理現象を信じている」「UFO を信じている」の 2 項目に○をつけた数の平均値を求めた（最大 2）。

ポジティブな表現を用いた条件でバーナム効果を受けた群における超常現象の受容数の平均は 0.27 であり、バーナム効果を受けなかった群では 0.43 であった。一方、ネガティブな表現を用いた条件でバーナム効果を受けた群は 0.57 で、バーナム効果を受けなかった群では 0.67 であった。これにより、「バーナム効果を受けやすい人ほど超常現象を信じやすい」という仮説を裏付けることはできなかった。しかし、この結果からバーナム効果の影響が直接的に超常現象の信じやすさに結びつくわけではない可能性を示した。占いや診断の信じやすさと超常現象の受け入れやすさに相関性はなく、人は常に物事に対して批判的な視点を持ちながら、自己の判断に活かしていることが示唆された。

4. まとめと今後の課題

本研究では、ポジティブな表現がバーナム効果の発生を促進し、その影響には性差が存在することを明らかにした。さらに、占いや

診断が単なる娯楽や迷信にとどまらず、心理的および社会的な役割を果たしていることが確認された。

ただし、被験者の年齢層や生活環境、文化的背景が限られているため、得られた結果を他の人々に当てはめるにはデータが足りないと考えられる。今後の研究では、バーナム効果や占い・診断に関する心理的影響をより広範に調査することが必要である。また、性差や受容性、自己肯定感などの個人差がどのように影響するかをさらに深掘りすることで、占いや診断がもたらす社会的な役割を明らかにすることができ、より実用的な心理的支援を提供するための基盤になると考えられる。本研究は心理学的側面を様々な分野で広く応用できる素地となりえるものであるだろう。

5. 参考文献

- 1) Forer, B. R. (1949). The fallacy of personal validation: A classroom demonstration of the “Barnum effect.” *Journal of Abnormal and Social Psychology*, 44, 1, 118-123.

コーヒーグラウンズを用いた消臭剤の作製

岡部るり 尾谷悠愛 門野瑠利佳 佐野綺奏

要旨

本研究では、抽出後のコーヒー粉(コーヒーグラウンズ)の処理方法を変えることによる対照実験を行い、消臭効果の高いコーヒーグラウンズ由来の消臭剤を作ろうと試みた。密閉容器内でアンモニアの吸収効果を測定した結果、簡易的な消臭剤の作製方法として、コーヒーグラウンズを冷却するのが効果的だとわかった。さらに、コーヒーグラウンズを石膏と混ぜ合わせて消臭効果を調べたところ、高い消臭効果が見られた。石膏で固形化することによって、環境由来の商品としても、より多くの人にコーヒーグラウンズ由来の消臭剤を使用してもらうことができると考える。

1. はじめに

世界では1日あたり20億杯以上のコーヒーが飲まれ、コーヒーグラウンズの廃棄量は年間6000万トンに上り、そのほとんどが焼却または埋め立て処分されている¹⁾。このように大量に廃棄されているコーヒーグラウンズを消臭剤として活用することによって、その排気量を減らすことにつながるだけでなく、市販の消臭剤の消費量を減らすことができる。これは、本来であれば捨てられるはずの廃棄物に付加価値を持たせることで新しい製品を作る、というアップサイクルの考え方に当てはまるといえる。コーヒーグラウンズのアップサイクルに家庭や企業でも取り組めるようにするため、コーヒーグラウンズを使った消臭効果の高い消臭剤の作り方を確立させたいと考えた。

実験では気体検知管を用い、アンモニアの濃度を測ることで臭いを数値化した。アンモニアは水溶性であるから、水を加えることで消臭効果を上げることができるのではないかと考えた。また、水を加える以外に、コーヒーグラウンズを煎る・冷やす・すりつぶすなどの処理を加えることで、消臭効果の変化も実験した。コーヒーグラウンズは、無数の細かい穴がある多孔質構造をもち、この穴が臭いの成分であるアンモニアを物理的に吸収することがわかっている^{2) 3)}。そのため、コーヒーグラ

ウンズにこれらの処理を加えることで、コーヒーグラウンズのもつ構造が変化し、アンモニアの吸収効果を高めることができるのではないかと考えた。

予備実験から、純水と28%アンモニア水を4:1の割合で混ぜた水溶液5 μ Lをろ紙に加えると、実験で用いた気体検知管の測定可能範囲内での測定に適することがわかった。また、水分率(コーヒーグラウンズとの質量比)21%のコーヒーグラウンズが水分率4%のコーヒーグラウンズと比べてアンモニア吸収率が高いことがわかっている³⁾。この結果をもとに加える水の量を設定した。

2. 材料・研究方法

2-1. 研究試料

実験1で用いたコーヒーグラウンズは、菊しんコーヒー様にご提供いただいたもの(原産地はミックスのため不明、粗挽き)を天日干した後に使用した。また、実験2で用いたコーヒーグラウンズは、R社の市販のレギュラーコーヒー(原産地:ブラジル・コロンビア、中挽き)である。実験で用いた気体検知管の測定可能範囲は2.5~250ppmであった。

2-2. 研究方法

2-2-1. 実験1の研究方法

純水 4mL と 28%アンモニア水 1mL をメスシリンダーで測り、それをビーカーに入れよく混ぜ合わせた。このうち 5 μ L をろ紙に垂らし、このろ紙と、中身を実験ごとに変えたプラスチックカップを容器に入れ密閉した。3 分間放置した後、気体検知管で容器内のアンモニアの濃度を測定した。(添付資料図 1)

実験を行ったプラスチックカップの中身の条件は以下の通りである。それぞれの条件において 3 回ずつ実験を行った。

- ① 無加工のコーヒーグラウンズ 5g
- ② 水 1mL を加えたコーヒーグラウンズ 5g
- ③ 水 3mL を加えたコーヒーグラウンズ 5g
- ④ 水 5mL を加えたコーヒーグラウンズ 5g
- ⑤ 水 1mL
- ⑥ 水 3mL
- ⑦ 水 5mL
- ⑧ 対照実験(空)
- ⑨ ホットプレート(160℃)で 5 分煎ったコーヒーグラウンズ 5g
- ⑩ 冷蔵庫で 1 週間冷やしたコーヒーグラウンズ 5g
- ⑪ 電子レンジ(600W)で 1 分熱した後十分冷ましたコーヒーグラウンズ 5g
- ⑫ 乳鉢ですりつぶしたコーヒーグラウンズ 5g

2-2-2. 実験 2 の研究方法

まずコーヒーを淹れ、その際に得られたコーヒーグラウンズ 5g をとってプラスチックカップにとった。実験1と同様、容器にこのプラスチックカップとアンモニア水を 5 μ L 垂らしたろ紙を容器に密閉し、3 分放置した後、容器内の濃度を測定した。この時に使用したアンモニア水、器具は実験 1 と同じものを使い、コーヒー豆は別のものを用いた。また、ここで得られたコーヒーグラウンズを 1 週間天日干しし、同様の実験を行った。実験においても、以下のそれぞれの条件で実験を 3 回ずつ行った。ただし⑮では、⑬で使ったものに手を加えていないため、水分が蒸発して全体量が減少していた。

- ⑬ 抽出直後のコーヒーグラウンズ 5g
 - ⑭ 抽出後1週間天日干したコーヒーグラウンズ 5g
 - ⑮ ⑬で使用したコーヒーグラウンズを 1 週間放置したもの
- それぞれのグラウンズの質量は次の通りである。
I :1.46g II :1.29g III :1.55g

2-2-3. 実験 3 の研究方法

シリコン型で、石膏、コーヒーグラウンズ、水を材料とした消臭剤を 3 種類作製した(添付資料図 2)。条件は以下の通りである。また、b と c は質量比は同じだが、b は天日干したコーヒーグラウンズをそのまま、c、d はそのコーヒーグラウンズを細かくしたものを使用した。質量は石膏が固まるまで十分に乾燥させた後に計測した。

- a: 石膏 60g, 水 20mL 質量 55.3g
b: 石膏 40g, コーヒーグラウンズ 20g, 水 20mL 質量 39.9g
c: 石膏 40g, コーヒーグラウンズ 20g, 水 20mL 質量 38.6g
d: 石膏 40g, コーヒーグラウンズ 20g, 水 20mL 質量 36.3g

3. 結果

1 回目の測定を I, 2 回目の測定を II, 3 回目の測定を III とするとアンモニア濃度の結果は以下のようになった。⑭⑮の I では、気体検知管の目盛りの範囲(2.5~250ppm)を超え測定できなかった。また⑭では天日干しにより乾燥した際、重量が減ったため 2 回しか測定できなかった。

- ① I :98ppm II :70ppm III :70ppm
- ② I :20ppm II :5ppm III :15ppm
- ③ I :15ppm II :3ppm III :10ppm
- ④ I :15ppm II :10ppm III :15ppm
- ⑤ I :15ppm II :12ppm III :14ppm
- ⑥ I :28ppm II :30ppm III :60ppm
- ⑦ I :40ppm II :12ppm III :13ppm
- ⑧ I :71ppm II :96ppm III :135ppm

- ⑨ I:30ppm II:37ppm III:13ppm
 ⑩ I:12ppm II:10ppm III:5ppm
 ⑪ I:31ppm II:43ppm III:80ppm
 ⑫ I:15ppm II:9ppm III:8ppm
 ⑬ I:38ppm II:47ppm III:70ppm
 ⑭ I:測定不可 II:98ppm
 ⑮ I:測定不可 II:95ppm III:93ppm

3-1. 実験1の結果

表中の「残留アンモニア濃度」は、各条件で3回測定したアンモニア濃度の平均である(但し⑭は1回, ⑮は2回の平均である)。

また表中の「吸収率」は、何も入れなかったとき(⑧)に残っていたアンモニアの濃度を100として、どれだけアンモニアが残っていたかを割合で示したものである。

表1. 実験1の水による結果

無加工のコーヒーグラウンズ, 水を加えたもの, 水のみのも, それぞれの吸収効果

条件	残留アンモニア濃度 (ppm)	吸収率(%)
①	79	22
②	13	87
③	9	91
④	13	87
⑤	14	86
⑥	39	61
⑦	22	78
⑧	101	—

表2. 実験1の温度の変化による結果

無加工のコーヒーグラウンズ, 加熱したもの, 冷却したもの, それぞれの吸収効果

条件	残留アンモニア濃度 (ppm)	吸収率(%)
①	79	22
⑨	27	73
⑩	9	91

- ⑪ 51 50

表3. 実験1の細かさの変化による結果
 無加工のコーヒーグラウンズ, すりつぶしたもの, それぞれの吸収効果

条件	残留アンモニア濃度 (ppm)	吸収率(%)
①	79	22
⑫	11	89

コーヒーグラウンズも水も容器内に入れずに、アンモニア水を垂らしたろ紙とプラスチックのカップのみを入れたとき(⑧)とコーヒーグラウンズのみで実験したとき(①)の比較により、コーヒーグラウンズはアンモニアを吸収する効果があることがわかった。また、コーヒーグラウンズを加工したとき、冷却したとき、すりつぶしたときのいずれにおいても、アンモニアを吸収する効果が高まったことがわかった。

3-2. 実験2の結果

表4. 実験2の時間経過による結果

抽出直後のものと、それを1週間放置したもの, それぞれの吸収効果

条件	残留アンモニア濃度 (ppm)	吸収率(%)
⑬	52	50
⑭	98	3
⑮	94	7

抽出直後のコーヒーグラウンズ(⑬)と抽出後1週間天日干したコーヒーグラウンズ(⑭)との比較により、抽出直後の方がアンモニアをより吸収したことがわかった。また、⑬と⑮の比較により、一度アンモニアを吸収したコーヒーグラウンズはそれ以上のアンモニアを吸収しにくいことがわかった。

3-3. 実験3の結果

前述 a~c の消臭剤を入れてアンモニア濃度を計測したところ、以下ようになった。(消臭剤を

入れなかった際のアンモニア濃度は実験 1, 2 同様 101ppm とする)

a: 55ppm

b: 21ppm

c: 22ppm

また、消臭剤を入れずに、アンモニア水を垂らしたろ紙だけを入れた容器と、消臭剤 d を一緒に入れた容器をそれぞれ 30 分放置したところ、次のようになった。

消臭剤なし: 81ppm

消臭剤 (d) あり: 0ppm

4. 考察

4-1. 実験 1 の考察

表 1 の①と⑧の結果より、コーヒーグラウンズだけでもアンモニアをある程度吸収することがわかったが、水を含ませることでより吸収効果が上がると思われる。また、②, ③, ④で得られた数値より多量の水を加えても、一定以上の吸収効果は見込めないこともわかった。

表 2 の①, ⑨, ⑩, ⑪の結果から、加熱や冷却をしたコーヒーグラウンズがアンモニアをより多く吸収したのは、加熱や冷却によってコーヒーグラウンズの構造がアンモニアをより多く吸収するように変化したためだと示唆される。

また、表 3 の①と⑫の比較から、コーヒーグラウンズを細かくすりつぶすことによって、アンモニアの吸収量が増加したのは、多孔質構造をもつコーヒーグラウンズの表面積が増加したためだと考えられる。

4-2. 実験 2 の考察

表 3 の抽出直後のコーヒーグラウンズ(⑬)が抽出後 1 週間放置したコーヒーグラウンズ(⑭)よりもアンモニアを吸収したのは、実験 1 から分かるように、抽出直後のコーヒーグラウンズの方が水分を多く含んでいるからだと考えられる。

表 3 の⑬と⑮の結果から、一度アンモニアを吸

収したコーヒーグラウンズがそれ以上のアンモニアを吸収しにくいのは、コーヒーグラウンズの穴に吸着したアンモニアが、1 週間放置しても吸着したままであったからだろう。

4-3. 実験 3 の考察

作製した 3 種類のどの消臭剤においても、無加工のコーヒーグラウンズよりも高い消臭効果が確認できた。石膏のみで作製した消臭剤でもアンモニアを吸収する効果があることがわかり、さらにコーヒーグラウンズを石膏と混合して作製した消臭剤はさらに消臭効果が高かったことから、コーヒーグラウンズの割合を大きくするほど消臭効果の高い消臭剤が作製できると考えられる。コーヒーグラウンズと石膏の粒の大きさが異なることから消臭剤の構造において隙間が大きくなり消臭効果が上がるという仮説も考えられるが、消臭剤 b, c の消臭効果の差が小さかったことから、この仮説は棄却できると考えた。加えて、消臭剤の作製で使用するコーヒーグラウンズの挽きの粗さでは差が出なかったことから、石膏で固めたことで消臭剤の表面積の差が小さくなり、混合したコーヒーグラウンズの粒の粗さによるアンモニアの吸収量の差が抑えられたと推測される。

また、30 分間放置する実験では、消臭剤を入れた容器内のアンモニア濃度が 0ppm まで小さくなっていったため、時間を増やした分、コーヒーグラウンズがアンモニアを吸収する反応が 3 分間の放置時間で実験したよりも進行した。この結果から、消臭剤はさらにアンモニアを吸収することができると考えられる。

5. まとめと今後の課題

本研究によって、水を加えたコーヒーグラウンズや加熱や冷却などの処理したコーヒーグラウンズのアンモニアの吸収効果がより高いことが明らかになった。消臭剤として使用するまでの加工時間を考慮すると、冷蔵庫で冷却する方法が最も家庭で実践しやすい方法だといえる。今回は 1 週間の

冷却時間で実験を行ったが、さらに短い冷却時間での吸収効果を測定したり、コーヒー豆の品種によって消臭効果に差が出るか調べたりすることで、より使用環境に合わせた消臭剤の作製方法が確立できると考えた。また、抽出したコーヒーグラウンズは期間を空けると効果が落ちることが明らかになったため、家庭で消臭剤としてコーヒーグラウンズをそのまま使う際には数日を目処に交換することが望ましいと考えられる。

今後、石膏を用いた消臭剤を作製するにあたって、本研究で行った加工方法を組み合わせることによって、より消臭効果の高い消臭剤の作製方法を確立することが課題となる。消臭剤を実用化させるためには、今回の実験で作製した消臭効果の持続時間を検証したり、アンモニア濃度をより高めて実験したりすることが必要であり、様々な空間において消臭効果を実験することで実際の使用状況に近い状態を作っていくことが重要であろう。

6. 謝辞

本研究において、コーヒーグラウンズを提供してくださった菊しんコーヒー様に厚く御礼申し上げます。

7. 参考文献

- 1) CNN, 2023.12.17, コーヒー豆のかすをコンクリートに再利用, 強度も向上か 豪研究チーム, <https://www.cnn.co.jp/world/35211967.html>, 2024.11.1
- 2) 香月麻里, 2022.7.22, 抽出後のコーヒー粉の脱臭効果がすごい! 教えて, コーヒーアカデミー!, https://mystyle.ucc.co.jp/magazine/a_13950/, 2024.5.17
- 3) UCC 上島珈琲株式会社, 抽出かすの活用方法, <https://www.ucc.co.jp/company/research/residue/>, 2024.7.29

8. 添付資料



図 1. アンモニア濃度測定容器



図 2. 作製した消臭剤

帰宅困難者に有用な地図の作成

～ アンケート調査と QGIS を利用して ～

小島葵 長嶋来実

要旨

本研究では災害時帰宅困難者に関する現状と防災意識を調査し、非常時の行動に QGIS を用いた有益な地図の作成を目的とする。洛北高校 1 年生にアンケートを実施した結果、非常時の行動について詳しい知識を持つ人、防災のための準備している人は少ないということが課題としてみえてきた。また、現在自治体が作成しているハザードマップでは、とるべき避難行動がわかりにくいと感じている人が多く、より災害に有益な QGIS を用いた地図を作成すべきであるとの結論に至った。

1. はじめに

京都府の花折断層帯地震被害想定調査において、花折断層で地震が起きた場合、死者 6,900 人、全壊建物 148,400 棟の甚大な被害が想定されている。また、震度 5 強以上が分布する市町村では徒歩・自転車以外での帰宅は難しくなるという条件で算定した場合、帰宅困難者は京都市だけでも 20,900 人に及ぶと想定されている¹⁾。しかしながら、京都市内の避難所は収容人数が足りていないことが指摘されている²⁾。そこで、本研究では高校生を対象とした帰宅困難者に関する現状と防災意識に関するアンケート調査から、自治体が作成したハザードマップと異なる非常時の行動に有益な地図を作ることを検討する。

2. 研究方法

災害時における高校生の帰宅方法について調べるため、本校 1 年 150 人を対象に次の項目を設けたアンケート調査を行った。質問項目は以下の通りである。

問 1 通常の通学手段

問 2 及び問 3 居住地域

問 4 ハザードマップの認知度、防災活用度

問 5 ハザードマップ認知度(学校など日常生活で関わる場所)

問 6 現状のハザードマップの課題

問 7 災害発生時、公共交通機関が利用できなくなった際、自宅または家族と決めた集合場所まで帰ることができるか

問 8 具体的な経路

問 9 外出中の被災に備えて携帯しているもの

問 10, 11, 12 一時避難所、広域避難所、災害帰宅支援ステーションについて

次に、QGIS を用いて京都市域の道路網・鉄道網と自治体指定の避難所の関係について分析し、その結果を地図にした。地図は、主に主要幹線道路や鉄道網と避難所の関連性に着目するために、そこに焦点をあてたものとしている。ここでいう避難所は、災害対策基本法に基づいて分類される切迫した災害の危険から一時的に逃れるための指定緊急避難場所、一定期間滞在し避難生活を確保するための指定避難所の双方をさしている。地震に伴う大火災等における二次災害の危険から、生命の安全を確保できる場所とされる広域避難所は避難所と分けて記載することとした。

3. 結果

3-1. アンケート

アンケートの結果は以下の通りである。

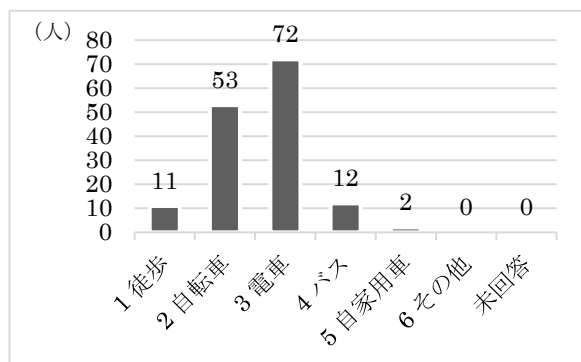


図 1. 洛北高校への通学手段

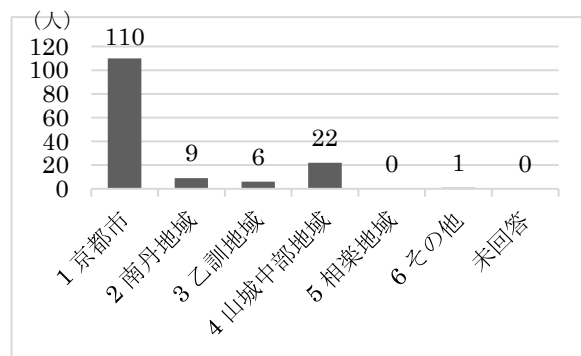


図 2. 居住地域

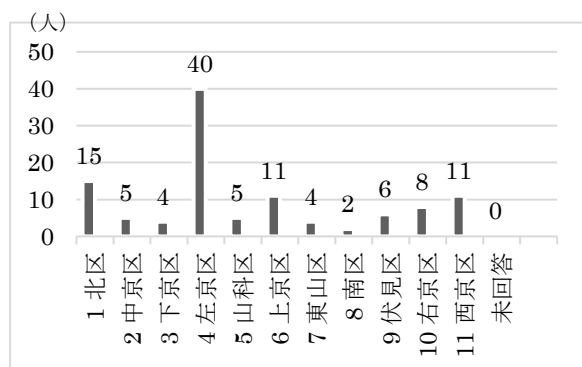


図 3. 京都市の何区に住んでいるか

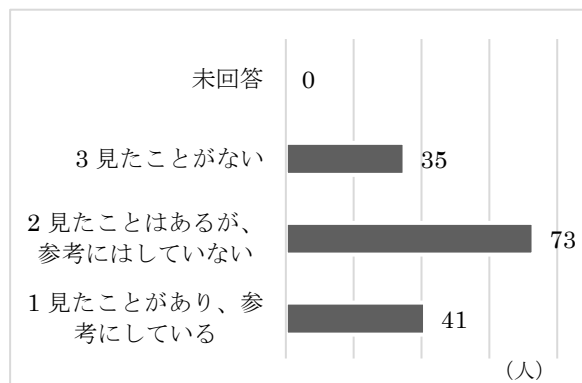


図 4. ハザードマップを活用しているか

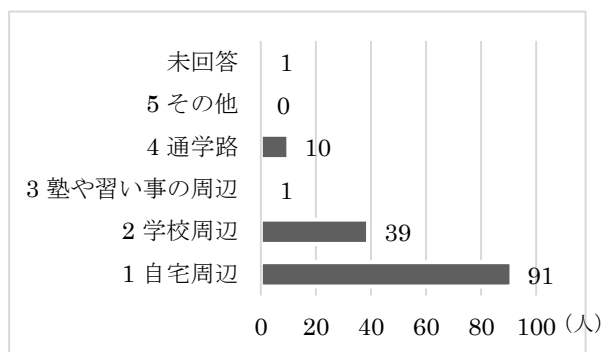


図 5. どの場所のハザードマップを見たことがあるか

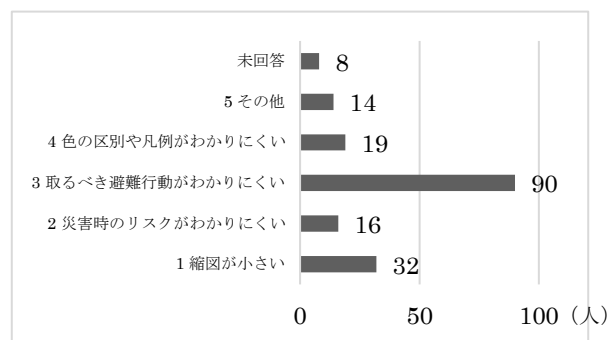


図 6. ハザードマップの問題点

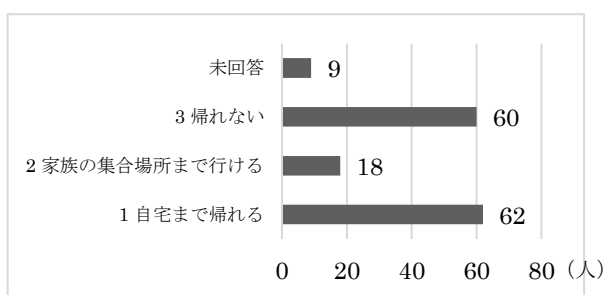


図 7. 災害時自宅まで帰れるか

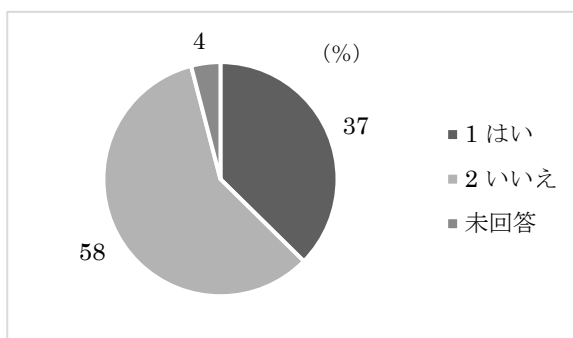


図 8. 具体的な帰宅経路を知っているか
(問 7 で 1, 2 を選択した人のみ)

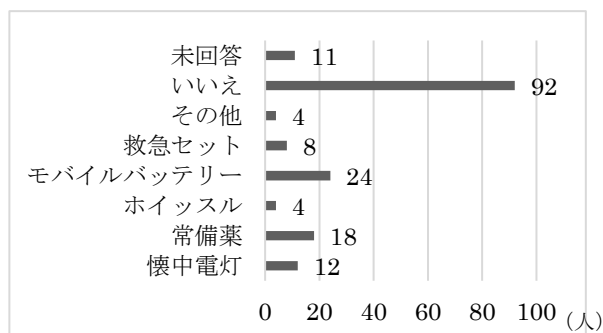


図 9. 緊急時のために常備しているもの

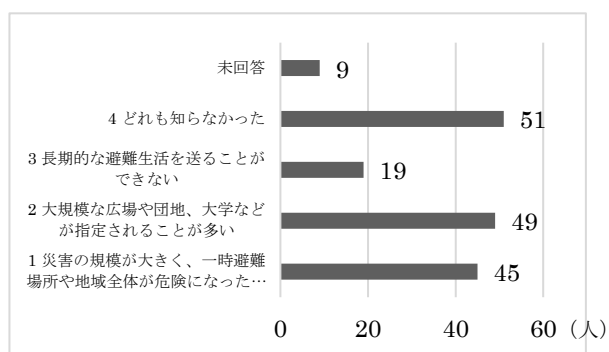


図 10. 避難所について知っていること

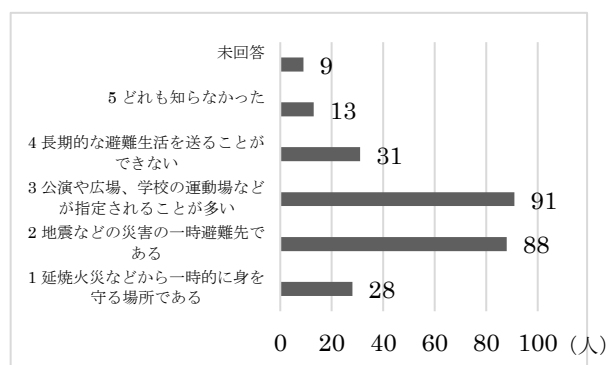


図 11. 広域避難所について知っていること

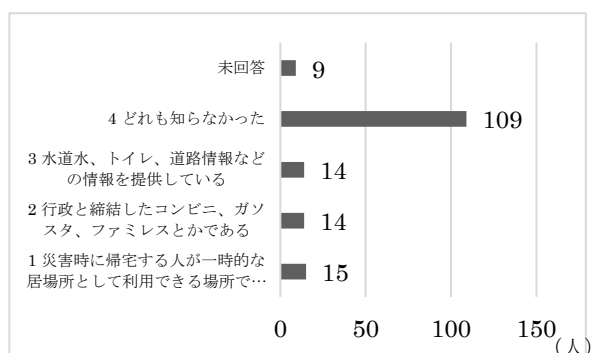


図 12. 災害時帰宅支援ステーションについて知っていること

3-2. 地図

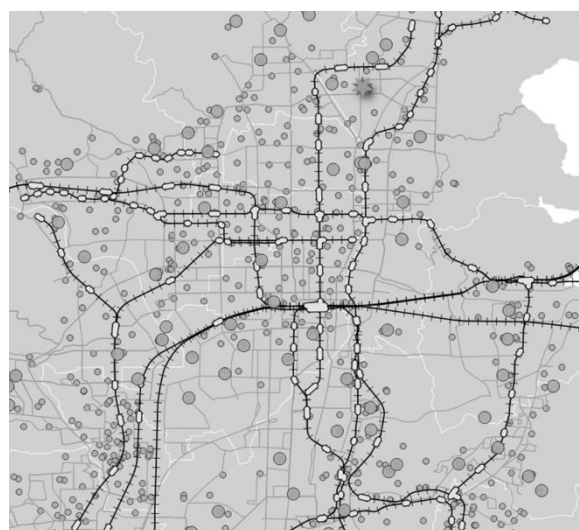


図 13. QGIS で作成した地図

着色部分は京都市内

・は避難所全般の位置

○は広域避難所の位置

＊は洛北高校の位置

(添付資料に着色図を掲載)

4. 考察

4-1. アンケート

図 1-3 より、徒歩で学校に来ている生徒は少なく、洛北高校まで長い距離と時間をかけている生徒が多い。このことから、災害時に帰宅の難しくなる生徒が多くなると考えられる。

図 4-6 より、ハザードマップを認知しているものの上手く活用されていないといえる。取るべき避難行動が分かりにくい、と回答した生徒が多く、図 7 でも災害時に自宅まで帰れない、と考える生徒が多いことも問題点としてあげられる。同様に、図 8 から、具体的な帰宅経路を知っている生徒は 4 割程度であり、図 9 から緊急時常備しているものがない、と答える生徒が程度だったことから災害時の防災意識の低さがうかがえる。図 10 より、避難所の認知度は高かったが、図 11、図 12 より、広域避難所や災害時帰宅支援ステーションの認知度が低いことが示唆されているので、地図中に取り入れられるべきである。避難所はこれまでの防災教育等を通じて認知度は高まっているものの、

より大規模な災害が起こった時に必要とされる広域避難所や災害時帰宅支援ステーションの認知度が低く、今後の課題と考えられる。また東日本大震災の際に、避難所が指定緊急避難場所と指定(一時)避難所に分けられていたにも関わらず、その機能を果たせていなかったことから、その違いにも今後は着目すべきであると考えられる。

4-2. 地図

図 13 より人口が密集している地域には、避難所が多く設けられているが、中には点在しているところもあり、避難所の認知は重要になると考えられる。一方、主要幹線道路・鉄道網の周辺に避難所が多く設けられており、帰宅困難となった時には幹線道路、鉄道網沿いを目指すことで、避難所が利用しやすくなると考えられる。前述のアンケートより、高校生への認知には課題があると考えられ、高校生だけでなく各年代においても同じように避難所は認知されていないことが想定できる。そうした結果を踏まえると、災害時には主要幹線道路沿い、鉄道網の周辺にそって非難することを周知することが大変重要であると考えられる。

5. まとめと今後の課題

災害時、洛北高校から自宅までの帰宅ルートを知らない人が多いことは、他の高校生や各年代においても同じ傾向を示すと考えられるため、より広範囲でのアンケートを実施することでより正確な調査になるのではないだろうか。避難所の分布をみて、自身の帰宅ルートを決定することができるものの個人の防災意識に任せずに、メディアや学校教育を通じて避難所の場所や役割、避難経路の確認を周知することが必要だと考える。また、地図に関しては、昼間人口に対する避難所の収容人数について調べることで、どの地域の避難所を増やすべきであるかを調べることができると考える。災害と付き合っていく必要性の高い日本において、その対策を模索していく取り組みが今後も求められる。

7. 参考文献

- 1) “花折断層帯地震被害想定調査(2024)“。京都府, <https://www.pref.kyoto.jp/kikikanri/documents/r5higaisouteihoukoku.pdf>
- 2) 京都市における避難所の収容人数に関する定量的把握, 2013 年 7 月歴史都市防災論文集 vo 17, 松宮かおる、及川清昭

8. 添付資料

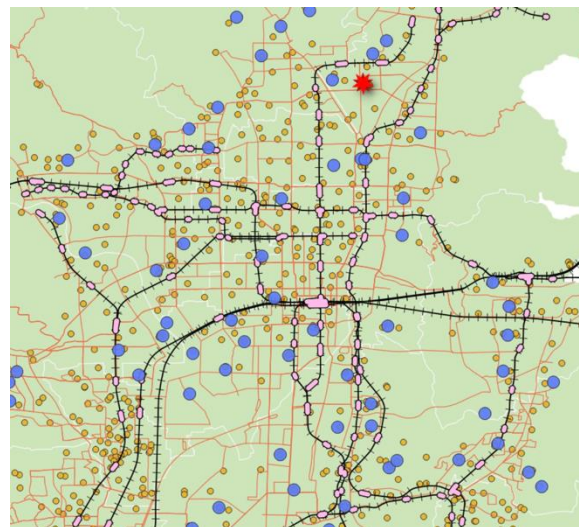


図 13. QGIS で作成した地図

着色部分は京都府内

- ・ は避難所全般の位置
- は広域避難所の位置
- ＊ は洛北高校の位置

最も耐荷重があるトラス構造の探究

川口光翔 黒川航介 増井千鶴 森本絢衣

要旨

橋の構造の中でも、トラス橋はいくつかの三角形によって構成されている丈夫な構造である。この実験では、そのうち最も耐荷重のある構造を明らかにすることを目的とした。ここでは橋のモデルの骨組みである角材を同量とし、それぞれの中心に錘を吊り下げていき、倒れた時の総重量から耐荷重を評価した。結果として、大きな違いは見られなかった。このモデルでは耐荷重を比較するのは難しいと考えた。

1. はじめに

橋の構造には多様な形式があり、大別すると桁橋、トラス橋、アーチ橋、斜張橋、吊り橋などが挙げられる。ここで、トラス橋は複数の三角形による骨組構造であり、外力を受けた際、曲げモーメントや剪断力を発生させず、部材にかかる力を圧縮力と引張力のみに分散することが可能であり(図 1)、安定性に優れているため、比較的大きな支間を持つ橋梁や鉄道橋などに利用される。この三角形を強みとした構造は橋に限定されず、ビルなどの建設物にも幅広く利用される。本研究についてはこの三角形の構造の強さに着目し、特に橋で用いられているトラス橋における耐荷重の比較をすることを目的とした。

トラス構造は、単純な三角形のみで構成されたワーレントラスに加え、鉛直材を含むものなど複数の種類に分類される。ここでは、同じ長さから分割した部材を用いて作成した 4 種類のトラス構造(図 2)、鉛直材のあるワーレントラス、プラットトラス、曲弦プラットトラス、キングポストトラスを対象とした。

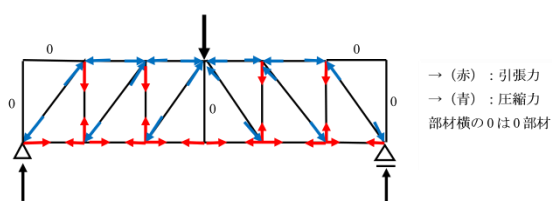


図 1. トラス橋の外力の分解

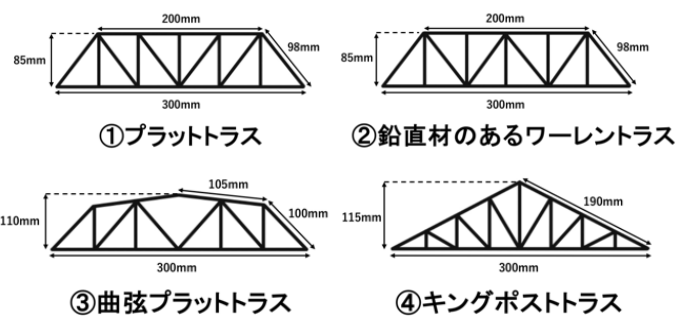


図 2. 4 種類のトラス橋の構造モデル

各構造の特徴

① プラットトラス

斜材が下向きに配置され、圧縮力が垂直材に、引張力が斜材に作用、材料効率が良い。

② 鉛直材のあるワーレントラス

鉛直材を加えることで剛性が向上し、局所的な変形を抑制。

③ 曲弦プラットトラス

上弦または下弦が曲線を描き、美観と材料効率を両立。

④ キングポストトラス

中央の垂直材と両端の斜材で構成されたシンプルな構造。

仮説

荷重のかかり方によって状況は異なるが、橋の中央におもりを吊るす今回の方法では、中心に支えの多い、①プラットトラスと④キングポストトラスがよく耐えると考えた。

2. 材料・研究方法

2-1. 材料

- ・角材(2mm×2mm×300mm)×5
×4(構造4種類分):計20本
- ・ボンド
- ・鉛(100g×9, 500g×1)
- ・力学実験用錘(10g×20, 20g×20, 50g×2)
- ・バネばかり

2-2. 研究方法

実験①

角材を用いて4種類のトラス橋の模型を作った(図2).橋の側面1つにつき、用いる角材の長さが約1500mm(300mm角材×5本)になるよう設計した.2つの側面の頂点どうしを長さ50mmの角材で繋ぎ,300mmの角材の中央に約55mmの角材を2本つけた(図3).角材の接合にはボンドを用いた.模型を台の上に設置して実験を行った.鉛に糸とクリップを繋ぎ,模型の中央の側面同士を繋ぐ二つの角材をクリップで挟み,吊り下げる形で荷重を加えた.荷重なしから500gまで100gずつ鉛を加えていき,その後50gの用錘を2つ,20g,10gと加えていった.また,追加した用錘が100gを超えた場合ゆっくりと外し鉛を100g追加して,再度用錘を加えた.模型が自立不能や角材の破壊された時点で荷重の追加をやめ,耐荷重を記録した.1種類の模型につき2回ずつ実験を行った.

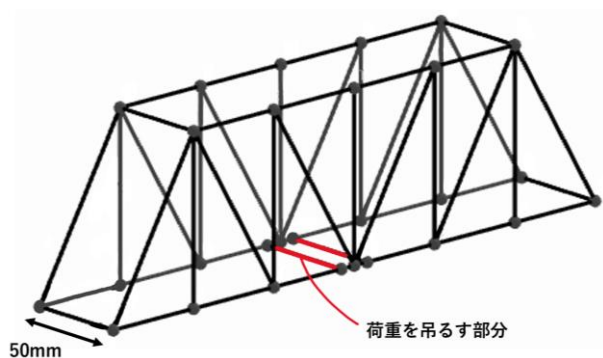


図3. プラットトラスの立体図

実験②

図2のうち②,③,④の模型を橋を形成せず側面一枚のみを用いて実験を行った.二つの台の間

に模型を架け,両端をおもりで挟んで倒れないよう固定した,模型の中央の角材に,糸を輪っか状になるよう結びつけ,輪にバネばかりを吊るす形で繋げた(図4).バネばかりを真下に引っ張り,徐々に荷重を加えていった.接合部が外れたり角材が割れたりした時点で荷重の追加をやめ,やめる直前にバネばかりが示した目盛りを読み取り,耐荷重を記録した.



図4. 実験②の様子

3. 結果

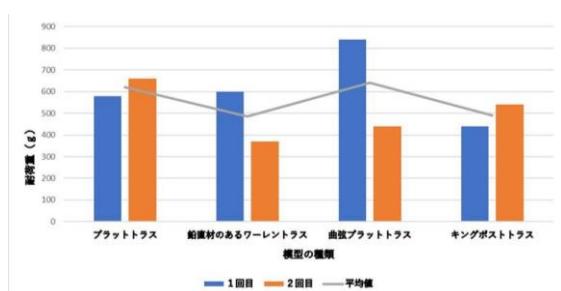
3-1. 実験①

結果は表1のようになった.

模型の種類	耐荷重
① プラットトラス	1回目:580g 2回目:660g
② 鉛直材のあるワーレントラス	1回目:600g 2回目:370g
③ 曲弦プラットトラス	1回目:840g 2回目:440g
④ キングポストトラス	1回目:440g 2回目:540g

表1.4 種類の構造の結果

グラフにすると図5のようになった。



グラフ 1. 4 種類の模型の耐荷重(実験①)

全ての実験で模型は共通して最後徐々に(図 2)から見た側面と垂直で鉛直の側面,すなわち橋の起点から見て平行四辺形を作る形で横に倒れていった。なお,2 回目は 1 回目で倒れたものをボンドで修繕した後行ったため,平均化せず別として扱うこととした。1 回目では,曲弦プラットラスが最も重い重量に耐え,キングポストラスが最も軽い重量で倒れた。2 回目はプラットラスが最も重い重量で倒れ,鉛直材のあるワーレントラスが最も軽い重量で倒れた。

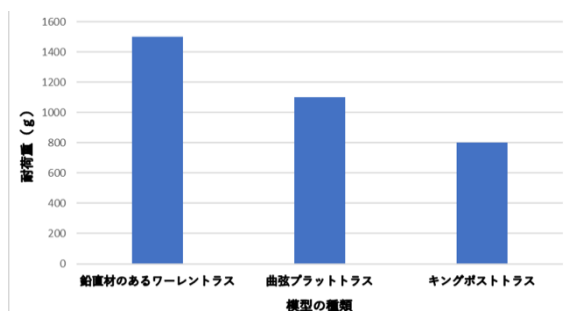
3-2. 実験②

結果は表 2 のようになった。

模型の種類	耐荷重
② 鉛直材のあるワーレントラス	1500g
③ 曲弦プラットラス	1100g
④ キングポストラス	800g

表 2. 3 種類の模型の耐荷重(実験②)

グラフにすると図6のようになった。



グラフ 2. 3 種類の模型の耐荷重(実験②)

鉛直材のあるワーレントラスは中央の角材と下辺の角材の接合部が外れた。曲弦プラットラスは,ま

ず下辺の角材が下向きに曲がっていき,次に頂点を作る 2 本の角材の接合部が徐々に折れ曲がり,最終的には下辺の角材の中央の部分が割れた。キングポストラスは,下辺の角材の中央の部分が割れた。

4. 考察

4-1. 実験①

全ての実験を通して共通して横に倒れたことについて,この実験では全ての模型の角材を同量にした都合上,2つの側面とそれをつなぐ角材の対角線上に角材を用いることができなかったため,どの橋の模型もこの向きが不安定であり,おもりが増えると側面に用いられていた角材の力の左右のバランスが崩れ大きな力が働き倒れたと考えられる。また,支点部分を除いた側面をつなぐ角材の数を考えると,キングポストラスは 1 本の鉛直材のあるワーレントラスとプラットラスは 2 本,曲弦プラットラスは 3 本である。したがって,1 回目の結果がこの本数に依存していると考え,1 回目で最も強かった曲弦プラットラスの側面をつなぐ角材を 2 本加えて再度実験を行った。しかし,540g でストップとなり,その仮定が間違っていると判断された。ここで,横向きに倒れたことから,横方向の動きをなくすことを目的として,側面一枚のみで実験②を行った。

4-2. 実験②

各モデルの崩れ方の相違から,それぞれの最も弱い部分から崩壊していったと考えられる。そして,このモデルを用いて橋の底辺の中心に外力を加えたこの実験においては,鉛直材のあるワーレントラスが最も耐荷重があると考えられる。

5. まとめと今後の課題

考察で述べたように,実験①は結果としてモデルが横方向に倒れて,正確な耐荷重を測定することが難しかった。実験②では,その不正確さを除くため,側面のみを用いた。実際の橋とは離れたモデルではあるが,中心下方向に外力がかかった際

の強度がより正確に測定できた.以上の二つの実験を踏まえると,鉛直材のあるワーレントラス,曲弦プラットラスが耐荷重があり,キングポストラスが最も弱いと判断された.また,今回の実験では大幅に橋を簡略化したモデルを用いて角材を同量としたが,今後側面に垂直方向にも三角形を用いた構造などを作成することや,角材の接点をより本格的にピン構造を用いた構造で実験を行えば,より正確な耐荷重を求めることができると考えられる.

6. 参考文献

1) 技術情報館 SEKIGIN

社会資本:鋼橋の製作と構造 2018

http://sekigin.jp/02infra/01bridge/steel_bridge/structure/structure02.html

2024 11 15

2) ハナダヒロユキ 建築工学性が学ぶ構造力学

2010

橋の構造とは? 5分でわかる全12種類の名称

特徴 強度 構造計算

<http://kentikukouzou.jp/struchasinokouzou.html>

2024、11、15

3) ー構造解析法へのアプローチー 第10章 トラス理論 2018、1

<http://kouzoukaihou.html.xdomain.jp/dai0syou.html>

2024、11、22

4) 森北出版社 よくわかる構造力学 2

土方勝一郎・隈澤文俊・柁山健二

岸田慎司・小澤雄樹 [著] 2020 4 24

霞堤の各条件下における治水効果の変化

～ 水平角度と鉛直角度での違い ～

石田 賢希 磯野 晃希 内野 迅翔 木下 俊太

要旨

霞堤の治水効果が最も高まる条件をモデル実験によって検証した。実験装置に流す水の流量を変更して意図的に氾濫を引き起こし、元の流量に戻した時の水の動きを観察することで治水効果を確認した。その結果、流れの方向に対する堤防の水平方向の開き角度(図 5 での α の角度、以後水平角度と呼ぶ)が大きくなるほど水が川に戻る働きは小さくなり、堤防内部の水平面に対する傾斜(図 4 での β の角度、以後鉛直角度と呼ぶ)が大きくなるほどその働きは大きくなった。

1. はじめに

近年、日本では減災を意識した堤防づくりが行われており、霞堤防もその一つである。霞堤防とは“堤防のある区間に開口部を設け、上流側の堤防と下流側の堤防が二重になるようにした不連続な堤防”であり、作られる場所によって種類を分けることができる。扇状地震堤と氾濫原霞堤の二つに分けられ、どちらの霞堤も“洪水時には開口部から水が逆流する”機能と“堤内地に湛水した水を排水する”機能を持っているが、氾濫原霞堤は扇状地震堤より傾斜がつくため、氾濫原霞堤でその機能が発揮されやすい。我々が住む京都府内にも亀岡市の桂川に霞堤が存在している。そのような霞堤を調べていると、霞堤の水平角度と鉛直角度が違うことに我々は気づき、また、場所による最適な角度や傾斜角があるのではないかと考えこの実験を行なった。この実験での霞堤防の治水効果は、遊水池内に入った水(以降オーバーフロー水と呼ぶ)の水位の下がる勢いが顕著でなくなるまでの時間が短いほど効果が高いとした。水平角度は角度が大きいほど遊水池の面積が広く水同士の衝突が少ないため治水効果が高くなり、鉛直角度は角度が大きいほど重力から受ける影響が大きくなるため治水効果が高くなると仮説を立てた。

2. 材料・研究方法

2-1. 研究試料

発泡スチロール台(縦 900mm 横 450mm 高さ 30mm)、タライ(直径 460mm 高さ 170mm)、ポンプ 1 (機種名:バスポンプ BP-101K, 2 個)、ポンプ 2 (機種名:ミニポンディ KP-104, 1 個)、ホース(内径 15mm 外径 20mm 長さ 1200mm)、水平器(blue level JR2)、段ボール、養生テープ、椅子、ビニールテープ、プラスチック水槽(縦 200mm 横 345mm 高さ 315mm, 図 6), 以上を用いて実験装置を作成(参照:図 3)。

2-2. 研究方法

実験 1 では、発泡スチロールと水槽を図 5 の設計図のように加工し、合計流量 580mL/s のポンプで水を循環させる。この時河川は氾濫していない。次に合計流量を 700mL/s に増加させると氾濫が生じ遊水池にオーバーフロー水が流れこみはじめる。3 秒待ち、その後合計流量を 580mL/s へと元に戻す。合計流量を 700mL/s から 580mL/s へ切り替えてから、遊水池と河川の境目が肉眼で見えるまでの時間を堤防の水平角度(15 度, 30 度, 45 度, 60 度, 75 度)を変えて、それぞれ 10 回ずつ測定した(図 1)。

実験 2 では、実験 1 と同じ実験装置に同様の

流量変化を起こし、水平角度を 45 度に固定して治水効果を検証した。遊水池に図 4 のような鉛直角度をつけ、これを 2.5 度、5.0 度、7.5 度、10 度と変化させて実験 1 と同様の時間を調べた。河川の流れに対して、右側と左側の遊水地をそれぞれ遊水地 A、B とした。調べ方としては、遊水池の上にカメラを固定することで、オーバーフロー水量と、実験 1 と同様に河川の境目が肉眼で見えるまでの時間を計測した。解析方法については、まず録画した動画から、水が遊水池に十分に溜まっている様子の画面をスクリーンショットし、描画アプリにて水際の曲線を適切な直線に直して、図 4 の点 P からその直線と壁 W の交点までの距離を t として記録する。この時オーバーフロー水は図 4 の赤線で表された体積になるため、オーバーフロー水量 V は以下のように定式化した。

$$V = \frac{(t^2 \times (34 - t) 2 \sin 2\beta)}{8}$$

また、時間については動画内に音声で始まりを記録しておき、水位の下がる勢いが顕著でなくなった時点を終わりとしてその間の時間を計測した。次の図 2 の水量と時間は、5 回ごとに実験した数値の平均値を使用して計算したものを示している。

3. 結果

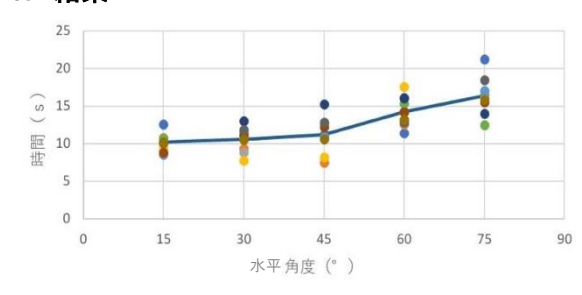


図 1. 時間と水平角度の関係

時間は、遊水池内に十分な量の水が溜まっている状態でスイッチを切った瞬間から、肉眼で遊水池内と河川の境目が見えるようになるまでの時間を測ったものである。

3-1. 実験 1 の結果

角度が減少するごとに時間が短くなってい

る。水平角度が 45 度から 75 度までの時間の変化率が 15 度から 45 度までの時間の変化率よりも大きい事がわかる。

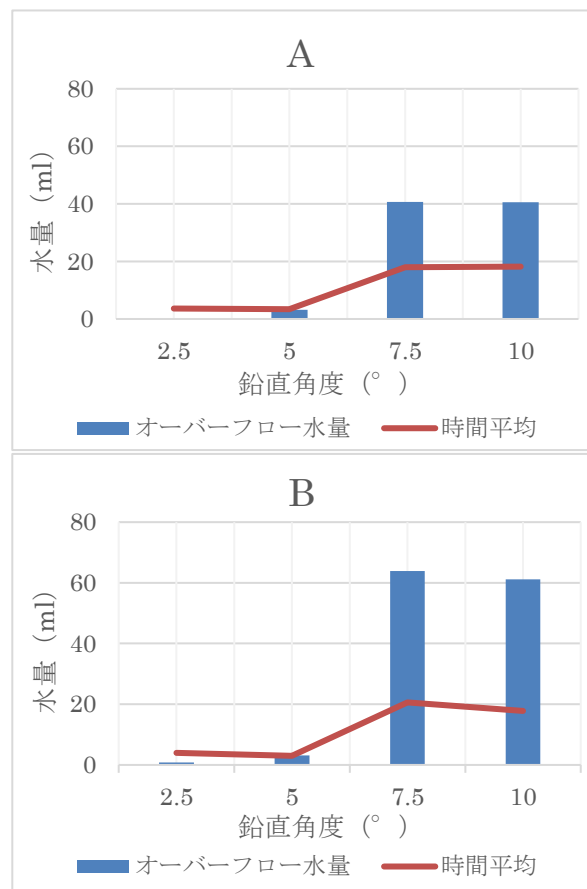


図 2. 各鉛直角度におけるオーバーフロー水量平均と時間平均の関係

棒グラフは遊水池に溜まった水量の平均を、折れ線グラフは流量を通常の状態に戻してから、氾濫がおさまるまでの時間を表している。上から順番に、遊水池 A、B の記録を示したグラフである。鉛直角度 7.5 度と 10 度とは同じ日に実験を行ったが、2.5 度と 5 度とは別日に実験を行ったため、実験装置全体の傾きがわずかに異なっている可能性を排除できなかった。よって、2.5 度と 5 度、7.5 度と 10 度を別々で考えた方が適切だと考えた。

3-2. 実験 2 の結果

図 2 より、遊水池 A の水量については、角度が 7.5 度と 10 度の時のオーバーフロー水量や時間がほぼ同じである事がわかる。一方遊水池 B の水量については、角度が 7.5 度の時に一番大きくな

ることがわかる。2.5 度と 5 度では、差がほとんど見られないが、若干 5 度の方がオーバーフロー水量は多く、時間が短い事がわかる。角度が 7.5 度と 10 度の時、2.5 度と 5 度の時の間で時間とオーバーフロー水量のどちらも顕著な差がある事がわかる。

4. 考察

実験 1 について

結果から仮説が正しくないことがわかる。これは、水が広がろうとする力が想定よりも小さかったことが考えられる。また、肉眼で確認しているため時間のばらつきが激しく、特に 45 度ではばらつきが大きくなってしまっている。角度が大きくなるほど遊水池の面積が広がるが、流量を 580mL/s に戻した時点で遊水池 A、B どちらも満たされていることを確認している。よって今回の実験 1 では水量は測定していないが、遊水池内に入ってくる水量は、水平角度が大きい順に多くなると推察される。

実験 2 について

角度が 10 度と 7.5 度の時、5 度と 2.5 度の時の間で顕著な差があるのは、別日で実験を行い、5 度と 2.5 度の時のポンプの水量が減ってしまったためだと考えられる。そこで、2.5 度と 5 度、7.5 度と 10 度の 2 つずつ別々に考えると、角度が大きくなるほど時間平均が減少する傾向があるため、治水効果は高くなり、仮説の妥当性が示されたと考えている。運動方程式より鉛直角度が大きくなるほど、オーバーフロー水が河川に戻る方向の加速度の値も大きくなり時間が短くなることがわかる。水量平均は 2.5 度から 5 度へは増加しているが、7.5 度から 10 度へは減少しているため、どういう傾向にあるかはこのデータからは考察することができなかった。

5. まとめと今後の課題

この研究から、水平角度では角度が大きいほど治水効果は下がり、鉛直角度では角度が大きい

ほど治水効果が上がることがわかった。今後の課題として、さらに実験回数を重ねて、データの正確性を上げることを考えている。同じような実験をするならば霞堤防は左右のうち片方だけにすべきと考えた。左右両方だと、条件を揃えるのに時間がかかってしまい、記録として不十分なものになってしまう。また、今回の実験では実験中の水漏れなどにより誤差が発生することがあったため、実際の洪水対策につながるように、災害シミュレーションや流体シミュレーションなどを用い、より理論的な結果を得たい。さらに、今後は、角度以外の条件を変え、霞堤防に与える影響を検証する実験も行ってみたいと考えている。河川部に傾斜をつけていないことで、実際の川との違いが生まれている可能性があるが、実際の川の傾斜が小さいため、このサイズで再現できるものには限界がある。サイズを拡張していくと実際のように傾斜をつけることができ、オーバーフロー水はより実際の時間経過に近い動きをすると考えられる。

この実験の研究動機は、テスラバルブという受動逆止弁について調べていた際に、この仕組みを用いられた霞堤が実際に存在していることを知り興味を持ったことで、そこからこの研究を行うに至った。この研究が霞堤防のみならず、テスラバルブ等、他の用途への理解を深める研究につながることを願う。

6. 謝辞

宇治川オープンラボラトリーの川池教授には、本論文の執筆にあたり相談させていただき、そのおかげで執筆が捗りました。感謝しております。

7. 参考文献

1) 国土交通省北陸地方整備局金沢河川国道事務所 手取川の「霞堤」が土木学会の平成 24 年度「選奨土木遺産」に認定されました

https://www.hrr.mlit.go.jp/kanazawa/mb2_jigyogyo/river/dobokuisan/dobokuisan.html

2024.12.06

2) 国土交通省近畿地方整備局 亀岡盆地について

https://www.kkr.mlit.go.jp/river/iinkaikatsudou/yodo_sui/qgl8vl000000717e-att/091113sono4.pdf 2024.12.06

3) 霞堤の機能と近年の研究成果のレビュー

https://www.rfc.or.jp/pdf/vol_94/p010.pdf

8. 添付資料

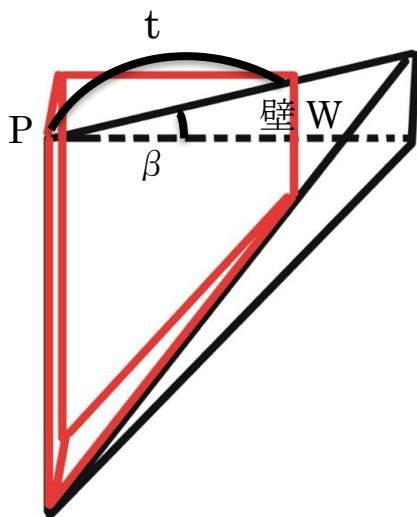


図 3 実験の全体写真

図 4 実験 2 での領域 B の立体図

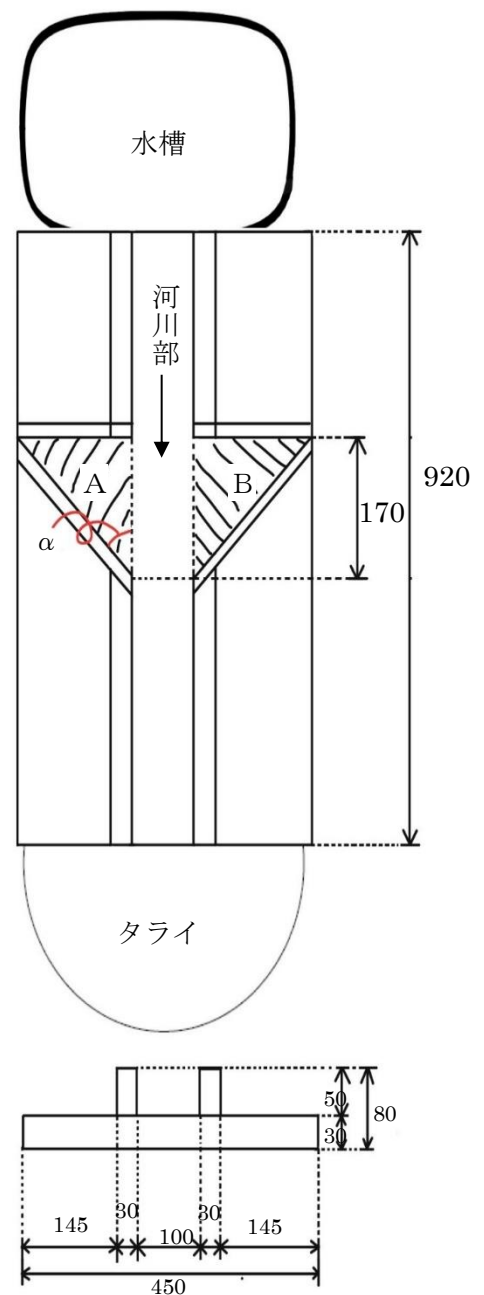


図 5 実験装置の設計図

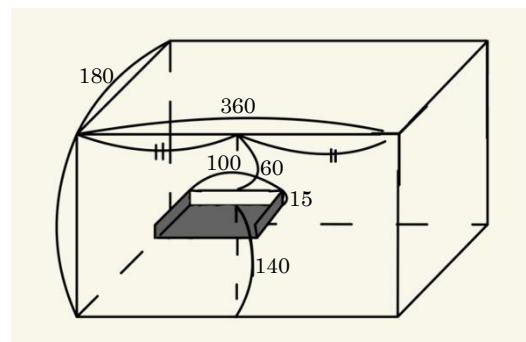


図 6 水槽の設計図

フリスビーの軌道計算

～ 水平距離を最大化する射出角度の導出～

藤澤俊介 森山凌 山田悠太

要旨

本研究では、フリスビー(図 1)を投射する際、投射位置から着地地点までの水平距離の最大値を取るときの射出角度を求めた。そこでフリスビーに一定の力を加えて射出するために、投射装置を製作し、それを用いたフリスビーの投射実験を行った。その実験結果と、流体力学を考慮したシミュレーションやプログラミングによる計算結果を照合することにより、最も遠くにフリスビーを飛ばすことができる射出角度を検証した。本研究では、実験が示す角度と計算が示す角度に差異が見られた。そのため、実験に用いた投射装置や、計算について設定した仮定に原因があるとみて考察を行った。

1. はじめに

一般に重力と空気抵抗のみを考慮する場合、物体の飛距離を最大とする射出角度は 45° より小さいことが分かっている¹⁾。通常流体中の物体には、その進行によって物体にかかる力が発生し、それを水平成分と鉛直成分に分解した力はそれぞれ抗力(式①)、揚力(式②)と呼ばれ以下に従う。

$$\text{式①} \quad F_x = \frac{1}{2} C_d S_d \rho v^2$$

$$\text{式②} \quad F_y = \frac{1}{2} C_l S_l \rho v^2$$

S : 代表面積(図 2) [m^2] ρ : 流体密度 [kg/m^3]

C_d : 抗力係数 C_l : 揚力係数 v : 飛行速度 [m/s]

フリスビーはこれらの影響、特に揚力の影響を大きく受けるとして射出角度が 0° から 20° の間で飛距離の最大値を取ると仮定した。我々はフリスビー投射装置を作成してフリスビーの投射実験を行い、それと合わせてシミュレーションソフトによって抗力、揚力係数(物体の形状と迎角(図 2 に示す ϕ) に固有)を算出し、プログラミングソフトでフリスビーの軌道を計算することで、投射実験による値と理論上の値との比較、検証を行った。

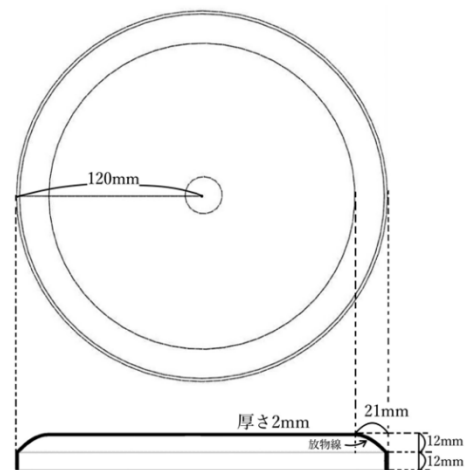


図 1. フリスビーの投影図

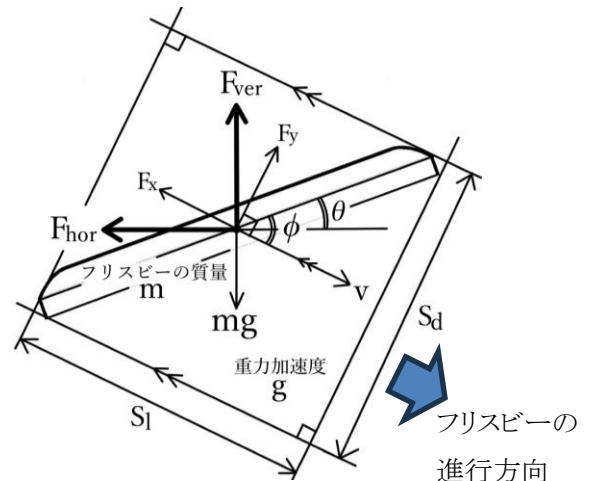


図 2. フリスビーのパラメータ

2. 材料・研究方法

2-1. フリスビー投射装置の作成

frisビー投射装置(図 3, 4)の作成にあたって使用した材料は以下のとおりである。

- ・木材
- ・自転車のタイヤ(26 インチ)
- ・ベアリング
- ・電動ドライバー(タイヤ軸に取り付ける)



図 3. フリスビー投射装置

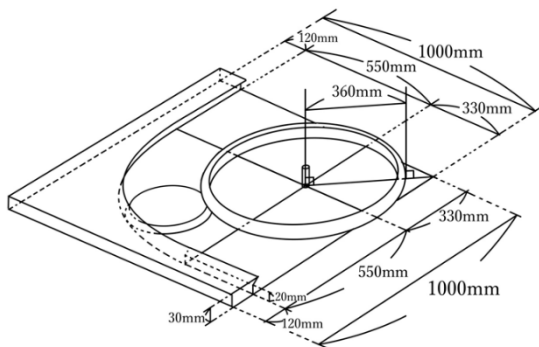


図 4. 投射装置設計図

2-2. 投射実験方法

投射装置を用いて無風の十分に広い空間で投射実験を行った。タイヤ軸に取り付けた電動ドライバーで、タイヤを時計回りに回転させ図 3, 4 投射装置の上部から射出する。水平面から 0.85m の高さから、仰角 θ を 0° から 20° までを 5° ごとに变えて投射実験を行い、それぞれ着地地点までの水平距離を計測する。それぞれの仰角で 3 回ずつ計測し、その平均をその仰角における記録とした。計測の際、射出地点から着地地点まで十分長いメジャーを伸ばし、着地地点付近でfrisビーが着地する瞬間を記録した。また、frisビーの

射出の瞬間を動画で撮影し、単位時間(1/30s)内の移動距離を解析することで得られた速度の平均を、実験全体でのfrisビーの初速度とした。

2-3. ソフトウェアを用いたシミュレーション及びプログラミングによる作図

まず投射後のfrisビーが流体中で受ける力は、水平方向を F_{hor} 、鉛直方向を F_{ver} として、実測と図 2 をもとに以下の式が立つ。この時、frisビーの回転は水平面に対しての仰角を、投射された瞬間から、着地するまでの間の姿勢を維持する役割のみを持ち、それは回転数によらないとし、射出時 $t = 0s$ において $x = 0m$ と $y = 0.85m$ とする。

$$F_{hor} = F_x \cos(\Phi - \theta) + F_y \sin(\Phi - \theta) \text{ [N]}$$

$$F_{ver} = F_x \sin(\Phi - \theta) + F_y \cos(\Phi - \theta) - mg \text{ [N]}$$

ここでの F_x , F_y は以下の関係式となる。

$$F_x = \frac{1}{2} C_d S_d \rho (v_x^2 + v_y^2) \text{ [N]}$$

$$F_y = \frac{1}{2} C_l S_l \rho (v_x^2 + v_y^2) \text{ [N]}$$

また、frisビーを半径 0.12m 高さ 0.024m の円柱に近似して、以下の面積を求めた。

$$S_d \cong 0.452 \sin \Phi + 0.00576 \cos \Phi \text{ [m}^2\text{]}$$

$$S_l \cong 0.452 \cos \Phi + 0.00576 \sin \Phi \text{ [m}^2\text{]}$$

frisビーの水平方向と鉛直方向の速度と座標はそれぞれ以下のように求めた。

$$v_x = \int_0^t \frac{F_{hor}}{m} dt + v_0 \cos \theta \text{ [m/s]}$$

$$v_y = \int_0^t \frac{F_{ver}}{m} dt + v_0 \sin \theta \text{ [m/s]}$$

$$x = \int_0^t v_x dt \text{ [m]} \quad y = \int_0^t v_y dt + 0.85 \text{ [m]}$$

$$\tan(\Phi - \theta) = \frac{v_x}{v_y}$$

プログラミングによる作図に関しては、上記の運動方程式を google colab (プログラミングソフトウェア) を用いて再現した。

続いて、抗力、揚力係数を迎角によって定義す

るために、コンピューターシミュレーションを利用する。これを行うにあたって、最初に、fusion360 (3D モデル作成ソフトウェア)を用いてフリスビーの 3D モデル(図 1)を作成した。シミュレーションについては、flow square+ (3次元流体シミュレーションソフトウェア(以下 fsp))で前述の 3D モデルを使用して、抗力、揚力について迎角 θ を 0° から 90° までの 5° ごとに調べた(添付資料)。その後、抗力、揚力の定義式より迎角 ϕ ごとの抗力係数 C_d 揚力係数 C_l を導き、 $\phi - C_d$ 、 $\phi - C_l$ 平面におけるそれらの点を迎角 ϕ の値 5° ごとに線分によって結び、 C_d 、 C_l を近似的に定義する。その際、fsp 内で用いたパラメータを以下に記載する(表 1)。

表 1. 3 次元流体シミュレーションで使用したパラメータ

1. cmode 0	11. latts 800
2. parallel 2	12. nfig 10
3. domx 1600	13. nfile 300
4. nx 240	14. presW 1. 00E+05
5. ny 120	15. uinW 10. 0
6. nz 120	16. rhoW 1. 20
7. lx 1. 00	17. uinB 0. 0
8. ly 0. 50	18. mu 1. 80E-05
9. lz 0. 50	19. ndiv 4
10. sts 0	

1, 2 はシミュレーションのモードと並列計算のレベル設定であり、密度一定の気体の解析が行われるよう設定した。3 はシミュレーション画面の横幅サイズ設定でこれにより 1600 ピクセル表示となる。4～6 は計算における格子点数の設定で x, y, z 方向にそれぞれ 240, 120, 120 と点が設けられる。7～9 は計算領域の物理的なサイズを表し、上記の設定で $1.00 \times 0.50 \times 0.50 \text{ m}^3$ のボックス内の流体を解析する。10, 11 は計算が持続する時間を示し、シミュレーションは 0～800 ステップの間行われる。12, 13 は計算結果の出力

頻度であり、シミュレーション描画面と計算された各要素が 10 ステップごとに出力される。またシミュレーションの瞬時結果ファイルが 300 ステップ時点で出力される。14～17 は計算領域内の流体の初期状態設定で、領域全体に気圧

1. $0.0 \times 10^5 \text{ Pa}$, x 方向速度成分 10. 0m/s, 密度 1. 20kg/m³が適応される。18 は流体の粘性係数を表し、値は常温常圧の空気のものに従い、 $1.8 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ とした。19 は表示される速度ベクトルについての設定で、計算画面上で格子点 4 つごとに 1 つ速度ベクトルが表示される。

3. 結果

3-1. 投射実験の結果

フリスビー射出の仰角 θ と水平移動距離の計測値は以下ようになった(表 2)。

表 2. フリスビー投射実験の仰角と水平移動距離との関係

$\theta [^\circ]$	0	5	10	15	20
MAX	11. 0	15. 6	17. 0	15. 4	11. 1
MIN	9. 3	11. 1	12. 0	10. 3	7. 6
AVE	10. 0	13. 7	14. 0	13. 2	9. 5

(単位:m)

計測の結果、上記より、 $\theta=10^\circ$ の時、最大値、最小値、平均値、全てにおいて飛距離は最大値をとった。また $\theta=20^\circ$ の時、着地の直前に、フリスビーが投射方向に対して逆方向に進む様子が見られた。

3-2. 流体シミュレーションの結果

流体シミュレーション(添付資料①)から得られたフリスビーの抗力係数 C_d 、揚力係数 C_l それぞれを、横軸を迎角 ϕ ととることによって以下グラフに示す(図 5, 6)。

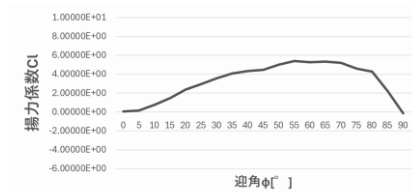


図 5. 仰角 ϕ と抗力係数 C_d の関係

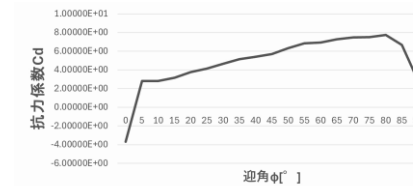


図 6. 仰角 ϕ と抗力係数 C_l の関係

3-3. 計算されたフリスビーの軌道

3-2の結果より2-3の方法を用いて、フリスビーが無風の空間を初速度 10m/s で 0.85m の高さから投射した時の軌道を計算し、水平移動距離を以下のように算出した(図 7~11)

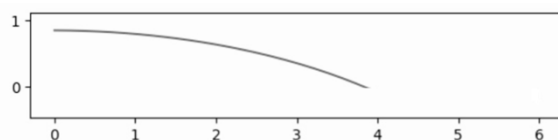


図 7. 仰角 $\theta=0^\circ$ 時のフリスビーの軌道

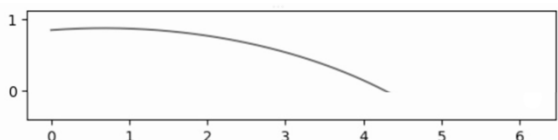


図 8. 仰角 $\theta=5^\circ$ 時のフリスビーの軌道

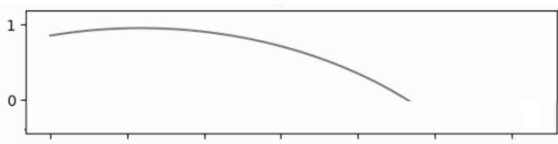


図 9. 仰角 $\theta=10^\circ$ 時のフリスビーの軌道

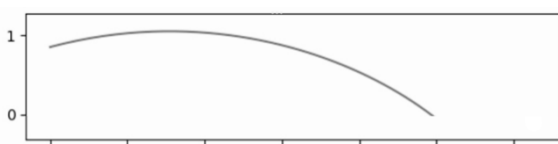


図 10. 仰角 $\theta=15^\circ$ 時のフリスビーの軌道

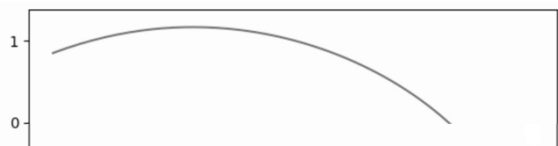


図 11. 仰角 $\theta=20^\circ$ 時のフリスビーの軌道

(単位:m)

図 7~11 の算出結果より、地面に到達する時の水平到達距離は以下ようになった(表 3).

表 3. 計算により算出した水平到達距離

$\theta[^\circ]$	0	5	10	15	20
飛距離	3.82	4.26	4.64	4.95	5.12

(単位:m)

4. 考察

3-1, 3-3 の結果より、実測値と計算から得られた値に大きく差があることが分かった. さらに、投射実験では $\theta=20^\circ$ の時、着地直前においてフリスビーが投射方向に対して逆方向に進む様子が確認された一方で、google colab で出力されたフリスビーの軌道ではそれは見られない. この原因としては以下の点が仮説としてあげられる.

① 投射装置の不備

② フリスビーの回転運動による影響

①に関して、投射実験の際に自転車のタイヤのハブ軸がホイール面に直交せずに歪んでいることが確認された. それによりフリスビーの射出時に加わる力が一定ではなくなり、初速度にばらつきが生じることは明らかである. フリスビーの軌道はその初速度の実測値によって計算されるため、その偏った値で計算が実行され、不適切な結果が出力されたと考えられる.

②に関して本研究では、フリスビーの回転は水平面に対しての仰角を、投射された瞬間から、着地するまでの間の姿勢を維持する役割のみを持ち、回転数が十分である時、その数値によらないとしている. この仮定が誤っている場合、2-3 のフリスビーに加わる力の式は成り立たない. すなわち、出力されたフリスビーの軌道と実測値の間には差異が生じる.

5. まとめと今後の課題

本研究では、以上のとおり投射装置の不備、仮定の誤りといった欠陥があった. 本来、投射実験と軌道計算では、等しい条件下で行われなければ

以上によってより、高い精度で水平距離が最大となる仰角を求めることができると考えられる。そして、軌道計算のプログラムの正当性が示されたとき、あらゆる条件下でフリスビーの軌道や飛距離を求めることができるだろう。畢竟、フリスビーに関して幅広く応用できるプログラムの確立を今後の課題とする。

3) 杉山弘(2012),「明解入門 流体力学」,(森北出版),152p

φ 傾けたfrisbeeに水平に風を当てることで、無風空間を飛行するfrisbeeを再現

本当に圧電素子は無音時に反応しているか

上田 雪翔、浦田 滯、辻野 友晴、山本 奏慧

要旨

本研究では、環境負荷の少ない発電の実現に貢献することを目的とし、圧電素子を用いた音力発電の効率化を試みた。予備実験として、流す音の周波数を変化させて発生電圧を調べたところ、音を流している時に比べ、音を流していない時の方が発生電圧の値が大きくなるという結果になった。これを受けて、圧電素子が本当に音を流していない時に反応しているかを確認するため、再度実験を行い記録した波形をフーリエ変換し、積分して電力と電力量を算出した。その結果、圧電素子は音に反応して電圧を発生させていると判明した。

1. はじめに

圧電素子とは、圧力を加えることで電圧を発生させる装置である。圧力が加わると、圧電材料内のプラスイオン、マイナスイオンの位置が移動し、電荷の偏りが生じることで、電圧が発生する。私たちは、この圧電素子を利用した実験で出会った疑問を解消することで、音力発電の実用化に貢献し、しいては地球環境の改善に繋がりたいと考えた。

予備実験では、0~1000Hz までの音を 100Hz ごとに区切って圧電素子に照射し、オシロスコープで波形を記録した。その波形を比較したところ、音を流した時より音を流していない時の振幅の方が大きくなる事象が多々あった。そこで、私たちは本当に音を流していない時の方が発電をしているのか、またなぜこのような結果が出たのかを調査し、まとめた。

2. 材料・研究方法

2-1. 研究試料

圧電素子 (LDTO-028K)、オシロスコープ (DCS-1072B)、パソコン(PC-VRT16FBGS3R7)、Bluetooth スピーカー (SoundCore)、騒音計 (HY1361)、発泡スチロール、USB メモリ、抵抗器 (510Ω)、ガムテープ、導線、椅子 (木製、300mm×300mm×450mm)

2-2. 研究方法

最初に圧電素子に導線をはんだ付けした。そして圧電素子についている導線の部分を、200mm×200mm に切った発泡スチロールにガムテープで固定した。発泡スチロールを有効ボード(京都府立洛北高等学校放送室の壁)にガムテープで固定した。椅子を設置し、その上にスピーカーを圧電素子に触れないように配置した。510Ωの抵抗器を繋いだ導線をオシロスコープに接続し、導線がスピーカーに触れないようにした。パソコンの音量を最大に設定した。スピーカーとパソコンを接続し、指定した周波数の音やホワイトノイズが出力できる Web サイト (URL:

https://tomari.org/main/java/audioapi/audio_osc2.html) を用いて、サイト内で 25Hz 毎に 0~1000Hz まで変化させて実験した。

周波数を変化させるごとにオシロスコープに接続した USB メモリに 5 秒間、 5.0×10^{-7} 毎に記録した波形のデータを DetailCSV 形式のファイルとして保存し、Excel Book に取り込んだ。

Excel Book に取り込んだデータを Web サイト (URL: <https://www.ritsumeai.ac.jp/se/rv/izuno/software.html>) からダウンロードした FFT 計算ツールを用いてフーリエ変換し、0~1000Hz までの範囲をグラフ化した。そのグラフを Excel で積分し、発生した電圧と電力量を調べた。

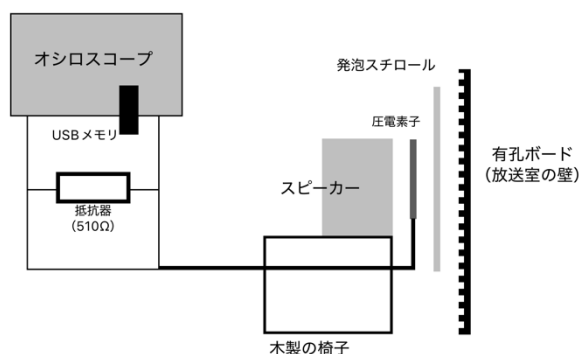


図 1. 実験装置の概略図

3. 結果

図 4(横軸は照射した音波の周波数(Hz), 縦軸はフーリエ変換スペクトル)のように, 25Hz 毎に音波を照射した実験では, それぞれの照射された音とその 2 倍の周波数に反応が見られた。また, 525Hz 付近から反応が大きくなり, 525Hz と 875Hz で特に大きな反応が見られた。

図 2(横軸は照射した音波の周波数(Hz), 縦軸は発生電圧(V))のように, フーリエ変換したグラフを積分し電圧を求めると, どの周波数帯でも音を流していない時以上の電圧が発生していた。また, 525Hz, 875Hz で発生電圧が大きくなった。

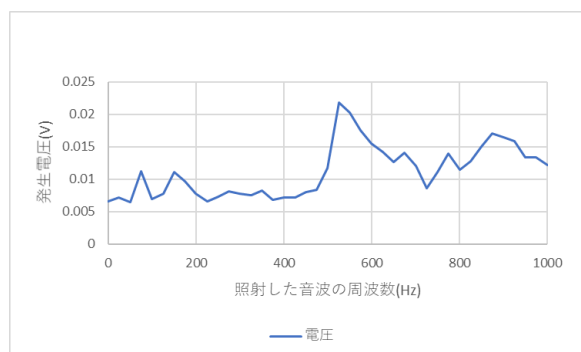
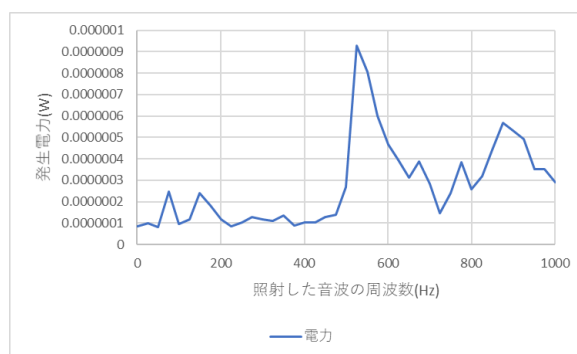


図 2. 周波数ごとの発生電圧

図 3(横軸は照射した音波の周波数(Hz), 縦軸は発生した電力量(W))のように, 発生電圧から発生した電力量を算出すると, どの周波数帯でも音を流していない時以上の電力量が発生していた。また, 525Hz, 875Hz で発生電力量が大きくなった。



4. 考察 3. 周波数ごとの発生した電力量

今回の実験中には, 圧電素子に音を当てていない時の方が, 音を当てた時より振幅が大きくなるような現象は見られなかった。音を流すと, その音や二倍振動の音に反応し, 発電できていることを確認した。これは, 以前の予備実験において, 抵抗の有無などの実験条件が確定していなかったことが原因だと考えられる。

実験から, 圧電素子は照射された音波の周波数とその二倍振動に反応していると考えられる。圧電素子に照射した音波が反射し, その音波と定在波をつくることで二倍振動にも反応したと考えられる。また, 525Hz が発泡スチロールと圧電素子を合わせた固有振動数であると予想される。固有振動数に対応する周波数が当たると共鳴が起き, 音のエネルギーを受け取りやすくなり, 発生電圧や電力量が大きくなったのだと考えられる。グラフより, 発生と発生した電力量は対応していると考えられる。

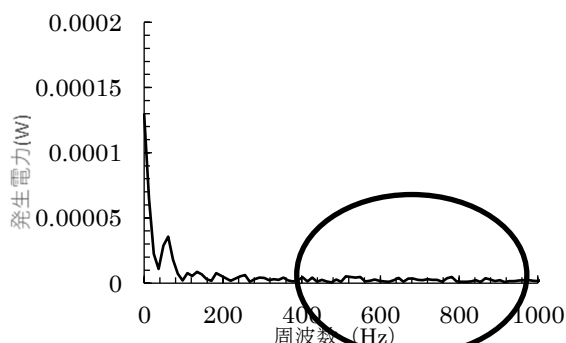


図 5. 無音時のフーリエ変換スペクトル

また, 今回 525, 875Hz の二つの周波数帯に顕著に反応していたが, この○で囲んだ範囲の図 5 のグラフの形を見るに, 525Hz, 875Hz とともに反応がややではあるが見られることがわかる。このこと

からも、この圧電素子と発泡スチロールの組み合わせでは、その二つの周波数に反応しやすくなることがわかる。

5. まとめと今後の課題

今回の実験で、予備実験にて見られていたような、音を流していない時に発電してしまう現象は見られず、音を当てるとしっかり発電できていた。これは、実験方法や解析手段の確立によって正しく計測されたためと考えられ、音を流していない時に発電していた現象は誤りであったと判断できる。また、今回、発泡スチロールと圧電素子の融合した固有振動数に合致したと思われる振動数(525Hzを中心に875Hzなど)で顕著に反応し、発電していた。さらに、圧電素子と発泡スチロールの融合した固有振動数の基本振動のようなものも見られた。図2、3より、グラフで周囲より凸になっている箇所が複数、やや規則的に見られた。これは本来この圧電素子と発泡スチロールの融合したものに合う基本振動と、その数倍の振動に反応しているものと考えられ、その内、反応が顕著だったのが525Hzなどであった。よって、今回実験で使用した圧電素子と発泡スチロールの融合したものは、基本振動に反応し、固有振動数と見られる525Hzに大きく反応しつつ、875Hzに反応して発電するなど、音に反応して発電していることが確認できた。

また今回の実験では圧電素子と発泡スチロールが反応しやすい周波数帯の音は判明したものの、なぜその周波数に対応するか、なぜ二つの顕著な反応が起こるのか(一つの周波数に対応するだけでなく、二つほど顕著に現れる周波数が存在するか)といった疑問のはっきりとした解明には至らなかった。

そして、今後の展望として実用化がある。今回、主に525Hz、875Hz付近で顕著な反応が見られたことから、その周波数帯(付近)の音波に対しての発電の実用化が可能のように思われる。あるいは、圧電素子固有の基本振動(今回

は75~80Hzくらいと目される)に合わせた発電方法が確立できるだろう。ただし、発泡スチロールを別の素材に変えたり、反射する環境下だったり、条件が変わると結果も変わると思われるので、注意が必要だ。

以上の結果を以て本研究のまとめとする。

6. 参考文献

1) ローム株式会社, ピエゾ(圧電素子)とは?,

[https://www.rohm.co.jp/electronics-](https://www.rohm.co.jp/electronics-basics/piezo/what1)

[basics/piezo/what1](https://www.rohm.co.jp/electronics-basics/piezo/what1), 2025.1.10

2) 田上慶一・塩見理桜・高嶋幸・橋本葵・空谷和紀, 2024, 音力発電の実用化に関する研究~圧電素子を用いた音力発電における設置環境と発電量の関係~

7. 添付資料

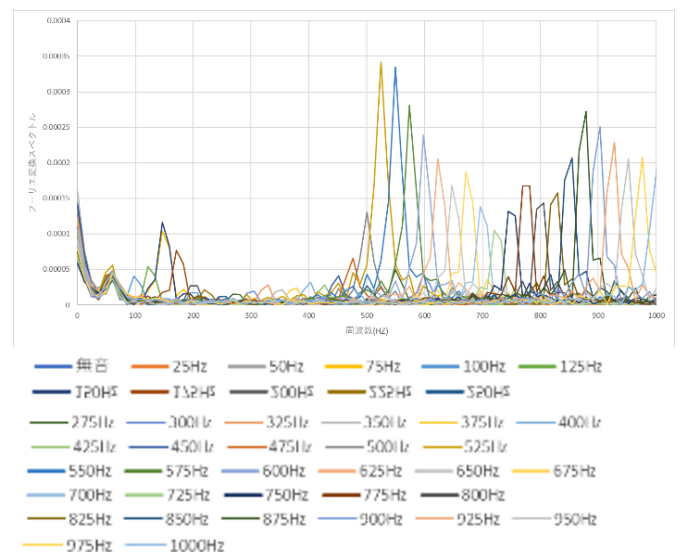


図 4. 周波数ごとのフーリエ変換スペクトル

ウレタンの厚さと防音効果の関係

～ 周波数を変えての実験 ～

沖本悟史 北川志音 滝沢哲平 古川真大

要旨

私たちはウレタンがどのように音圧レベルを小さくするのか調べることを目的として本実験を進めた。まず立方体の木箱を作成し、ウレタンを1枚ずつ6枚まで貼った(1枚 3mm)。次にその中でスピーカーから特定の周波数の音波をそれぞれ出し、木箱から漏れ出る音波を木箱の外から騒音計にて測定した。ウレタンなしの場合から6枚の場合までの音圧レベルを測定し防音効果を検証すると、ウレタンを厚くするに従って計測された音圧レベルが減少することが確認された。結論として、今回行った実験の厚さ(3～18mm)ではウレタンを厚くするほど防音効果も上がることが示された。

1. はじめに

人々が密集して生活している今日では、騒音問題というのは避けられない問題であり、被害を減らすためには部屋から漏れる音を小さくする防音が必要である。ウレタンは多孔質で防音に向いた物質であり、室内の壁に貼ることがある。この研究では、ウレタンの防音効果と厚さの関係に注目して調べた。我々が事前に行った実験では部屋に見立てた箱型のゴミ箱を使い、箱の内側の側面をウレタンで敷き詰め、箱から漏れ出た音圧を騒音計を用いて計測した。結果、全ての周波数帯の音波において、ウレタンの厚さと防音効果の関係は見られなかったが、高い周波数の時のみを見るとウレタンを厚くしていくと音圧レベルの減少を確認できた。この実験を踏まえて、ウレタンの枚数を増やして厚くするとどの周波数の音波も防音できるようになり、防音効果が高まるが、ある厚さ以上になると音圧レベルの減衰率が小さくなると予想した。



図 1. ウレタン



図 2. 木箱

2. 材料・研究方法

2-1. 研究試料

実験材料

木板(エゾマツ, 厚さ 13mm)

木工用ボンド

日本製 スポンジ用 超強力両面テープ

ウレタン(厚さ 3mm)(図 1)

スピーカー(STSEETOP BT2602-BL)

騒音計(HY1361)

iPad

トーンジェネレーター

2-2. 研究方法

まず木材を使って縦 250mm、横 250mm、高さ 265mm の木箱(図 2)を作成した。

上面から音が出るスピーカーから直線距離で 50cm 離れた箱の外部の場所に騒音計を設置した。(図 3)

スピーカーに木箱を被せ、iPad の「トーンジェネレーター」というアプリを使い、250Hz～5000Hz まで 250Hz 刻みで音を流す。その際、スピーカーから出る音量は iPad、スピーカーともに固定して行った。

騒音計の様子を iPad で撮影し、それぞれの周波数において騒音計の示す値を 10 秒間、1 秒毎に記録し、平均値を計算した。

その後、木箱の内側(スピーカーを置く底面を除く 5 面)にウレタンを 1 枚～6 枚貼りつけ、上記の方法を繰り返した。

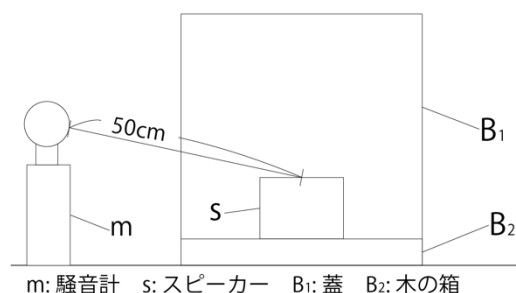


図3 実験の概要図

3. 結果

上記の実験方法を行い、箱から漏れ出る音の音圧レベルを測定した。表 1 は0～6枚の測定結果である。表 1 を基に作られた図 5 はスピーカーから出した音波の周波数と、箱の外部で計測された音圧レベルとの関係を表すグラフである。図 6 は測定結果より、ウレタンが 0 枚の時音圧レベルを 1 とした、それぞれのウレタンの厚さによる測定値の相対値のグラフである。(本文の末尾にカラーの図 5、図 6 がそれぞれ記載されてある。)

表 1. 0 枚から 6 枚までの全ての結果の値

	ウレタンの厚さ						
	0mm	3mm	6mm	9mm	12mm	15mm	18mm
250Hz	66.4db	72.9db	71.6db	70.3db	72.0db	71.2db	57.2db
500Hz	49.0db	55.8db	53.2db	48.6db	47.5db	52.5db	49.2db
750Hz	68.2db	62.5db	60.0db	62.4db	53.8db	60.0db	53.7db
1000Hz	58.9db	55.7db	60.0db	59.8db	61.4db	63.2db	58.3db
1250Hz	66.9db	54.9db	70.3db	65.3db	65.4db	58.3db	58.9db
1500Hz	77.0db	67.3db	66.1db	66.2db	54.6db	53.8db	53.8db
1750Hz	54.5db	55.4db	62.6db	58.6db	55.6db	66.0db	52.0db
2000Hz	79.8db	64.7db	73.5db	69.4db	66.3db	57.8db	51.7db
2250Hz	78.7db	66.1db	54.5db	61.2db	60.3db	67.4db	70.6db
2500Hz	48.3db	64.2db	65.6db	62.1db	65.0db	63.5db	58.9db
2750Hz	75.7db	54.8db	59.2db	48.7db	58.9db	61.8db	58.5db
3000Hz	70.0db	60.0db	65.5db	58.2db	65.9db	58.9db	61.1db
3250Hz	50.4db	64.4db	63.1db	63.6db	62.3db	57.1db	57.5db
3500Hz	74.6db	66.0db	63.5db	61.3db	60.3db	57.2db	53.9db
3750Hz	66.8db	70.2db	62.4db	57.6db	63.5db	62.4db	66.4db
4000Hz	70.3db	67.9db	61.7db	63.0db	69.6db	65.5db	65.8db
4250Hz	65.3db	62.6db	54.6db	61.4db	54.6db	56.6db	57.7db
4500Hz	61.8db	45.2db	60.4db	61.4db	60.7db	55.6db	55.8db
4750Hz	71.8db	66.7db	62.7db	62.0db	53.9db	48.7db	58.3db
5000Hz	60.9db	50.1db	48.3db	58.6db	49.2db	43.5db	49.6db
平均値	65.8db	61.4db	61.9db	61.0db	60.0db	59.1db	57.4db

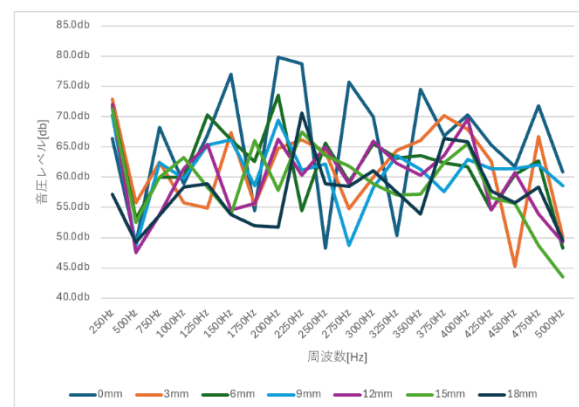


図5

スピーカーから出した音波の周波数と計測された音圧

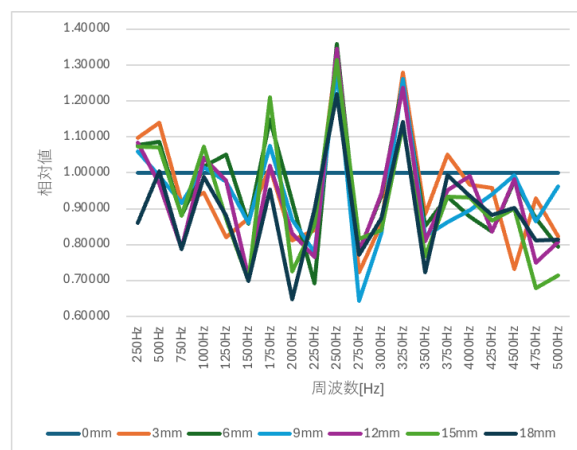


図6

ウレタンが0枚の測定値を1とした場合の
1～6枚(3～18mm)の測定値

図 6 では、1750Hz、2500Hz、3250Hz の周波数帯では 0 枚の場合よりも、大きな音圧レベルが計測されたことがわかる。

図 6 ではウレタンの厚さによる防音効果が確認しづらいため、全ての周波数の音波で計測した音圧レベルをウレタンの厚さごとに平均値をとったものが図 7 となった。

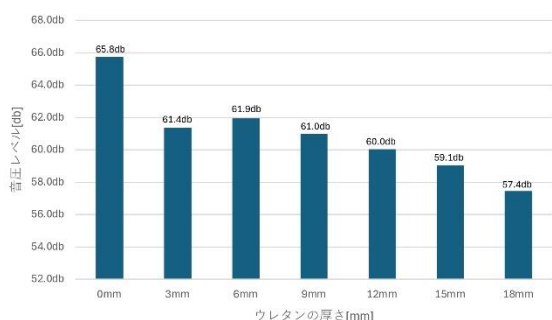


図 7
厚さごとの騒音値の平均値

図 7 から、平均的に 6 枚の時に最も音圧レベルが低かった。また、1枚から2枚になる時に音圧レベルの増加が見られるが、その後は約1db ずつ減少している。

図 6 から高い周波数帯(3750Hz から)では低い周波数帯(1250Hz まで)より防音効果が高いようにみられたので、2500Hz 以下の周波数のウレタンの厚さごとの音圧レベルの平均値と 2750Hz 以上の周波数の同様のものを比較した棒グラフ(図 8)を作成した。

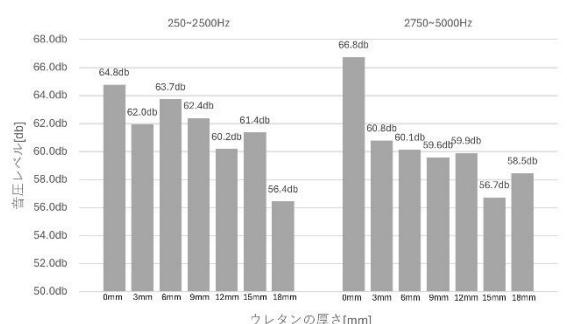


図 8
高周波数・低周波数に分けた厚さごとの音圧レベルの平均値

図 8 より、厚さごとの音圧レベルの平均はどの厚さでも高い周波数帯(2750~5000Hz)の方が、低い周波数帯(250~2500Hz)よりも 0 枚の時よりも減衰できていることがわかる。

4. 考察

図 6 で 2500Hz など 0 枚の時を超える音圧レベルが計測されたことについて、基準となっている 0 枚の計測結果は、木箱の固有振動数の影響を大きく受けていたと考えられ、間接的に相対値は木箱の固有振動数の影響を受け、よって 0 枚を超える音圧レベルが測定された周波数が存在したと考えられる。今回実験に使用した木箱の固有振動数を求めるため、参考文献 3 をもとに板状の物体の固有振動数を計算した³⁾。参考文献 4 からエゾマツのヤング率とポアソン比を、参考文献 5 から密度をそれぞれ参照し、以下の式を使い、固有振動数を求めた⁴⁾⁵⁾。

a は板の縦横の長さ(mm)、 t は厚さ(mm)、 E はヤング率(MPa)、 ν はポアソン比(-)、 ρ_a は密度(ton/mm^3)、 PM は板固有の定数(-)である。

$$f = \frac{1}{2\pi} \frac{PM}{a^2} \sqrt{\frac{D}{\rho_a}}$$

$$D = \frac{Et^3}{12(1 - \nu)}$$

その結果、箱に用いた木材の固有振動数は約 2000Hz となり(ただし、今回実験に使用した木材は長方形であり、一辺の長さ a をどのような値にするかで約 100Hz 結果が変化する。また、この計算は簡易計算であり、完全に正確な値とは限らない)、図 5 に見られる 0 枚の時の最大音圧レベルも 2000Hz であるから木箱の固有振動数が測定結果に影響を与えたと考えられる。

図6から 250、500、1750、2500、3250Hz でウレタンを貼ったときに貼っていない時を超える音圧レ

ベルが測定されたことが分かる。これは 250, 500Hz の場合と 1750, 2500, 3250Hz の場合で要因が異なると考えられる。

250, 500Hz の場合は、共鳴透過現象*(コインシデンス効果*よりも低い周波数で発生する)が関わっており、この周波数帯では木箱の外に出る音波の音圧レベルが大きくなったと考えることができる。

1750, 2500, 3250Hz の場合は、コインシデンス効果(共鳴透過現象よりも高い周波数で発生する)によって 1750~3250Hz において木箱の外に出る音波の音圧レベルが大きくなったと考えられる。しかし、図 6 の 2000, 2750Hz においてウレタンを貼った時の測定値が木箱のみの測定値を下回っているが、図 5 と前の考察よりこの 2 つの周波数で木箱の固有振動数との関係によって木箱のみの音圧レベルの計測値が大きくなったからだと考えることができる。

*共鳴透過現象とは特定の低音域で透過損失が減少して遮音性能が低下するというもの⁶⁾であり、コインシデンス効果とは壁体にある周波数の音が入射したとき屈曲運動を生じ、透過損失が低下する現象である。⁷⁾

図8で高い周波数の音波のほうが低い周波数の音波よりも0枚からの音圧レベルの減衰が大きいことから、ウレタンはこの実験での低い周波数よりも高い周波数の音に対する防音効果が高いと考えられる。

図7からウレタン 0 枚～6 枚の間では、増減の平均を取れば、一枚につき約 1db 音圧レベルを減らすことができると考えられる。仮説にあったウレタンを厚くすると音圧レベルの減衰率が小さくなるということは見られず、今回実験した厚さではウレタンを厚くするほど防音効果は上がることが示された。

5. まとめと今後の課題

ウレタンを厚くするにしたがって音圧レベルの減衰量は大きくなる。つまり、ウレタンを厚くするに

したがって防音効果も高まる。しかし、その中でも周波数によって防音効果に違いがある。また、ウレタンを防音材として使用する時は高い周波数(2750~5000Hz)で高い防音効果を発揮する。

今回の実験では 1 通りの部屋の大きさやウレタンしか用いていないため、固有振動数の関与を含めて異なる大きさや素材の部屋でのウレタンの防音効果と厚さの関係を確定させることはできない。よって、異なる大きさや素材の部屋を用いて同じ実験を行いたい。また、今回の実験においてもさらにウレタンを厚くすると音圧レベルの減衰率が小さくなる可能性があり、ウレタン 7 枚以上でも実験してみたい。今回の測定は 250~5000Hz のみだったので、さらに低い周波数や高い周波数で実験することで考察が正しいか確かめられるだろう。

6. 参考文献

- 1) 岐阜プラスチック工業株式会社,
<https://teccell.co.jp/saint/column/soundproofing-mechanism-type/>, 防音効果の仕組みとは？種類ごとに概要と特徴をチェック 2023. 3. 27,
2024 年 12 月 6 日閲覧
- 2) 梅田重夫・毛利健太郎・村田利男・守田伸六,
1978, ビニール温室の暖房騒音に関する研究,
農学機械科学雑誌, 40, 1, 99-104
- 3)CAE など工房, <https://enginfo.jp/k072-固有周波数計算板>
2022. 4. 30, 2025 年 2 月 7 日閲覧
- 4)村田功二・棚橋秀光, 2010, 圧縮試験による木材のヤング率とポアソン比の測定, Journal of the Society of Materials Science, Japan, Vol. 59, No. 4, pp. 285-290
- 5)有限会社呉羽木材, https://kuremoku.com/woods/#woodslist_4 保有木材紹介,
2024. 11. 15, 2025 年 2 月 7 日閲覧
- 6)創和防音, 2024. 6. 18, 中空構造とは？遮音性能を高める基本～共鳴透過現象についても

解説～, <https://www.sowa-bouon.com/post/hollow> , 2025. 2. 11
 7)建築学科のための環境工学, 2024. 4. 29, コ
 インシデンス効果とは？一重壁・二重壁例と原因・対策, <https://environmental-engineering.work/archives/604>,
 2025. 2. 11

7. 添付資料

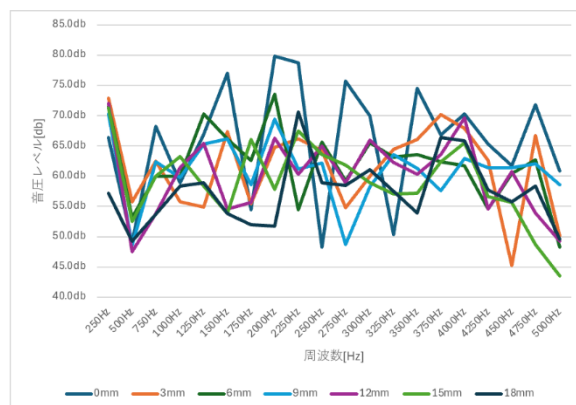


図 5

スピーカーから出した音波の周波数と計測された音圧

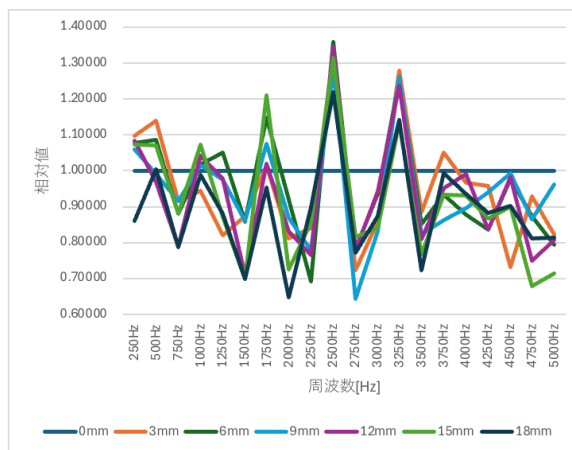


図 6

ウレタンが0枚の測定値を1とした場合の1～6枚
 (3～18mm) の測定値

NACA 4 桁型翼形のパラメータと迎角が揚抗比へ与える影響

後慶唯 川畑瑞樹 古川翔太 望岡友航

要旨

本研究では、翼の形状や迎角の大きさの変化が揚抗比に与える影響について、NACA4 桁型翼形を対象として風洞を用いた基礎実験およびシミュレーションソフトによる解析を行った。NACA4 桁型翼形は t , m , p の 3 つのパラメータを用いて形状が定義され、各値は t :翼の厚さ, m :最大キャンバー, p :最大キャンバーの位置をそれぞれコード長に対する割合で示す。結果として、 m , p の変化は揚抗比に影響を与えず、 t の増加に伴って揚抗比が大きくなった。また今回の分析範囲では迎角の影響が各パラメータの影響より支配的で、迎角が 5~10 度の間で揚抗比は最も高い値を示した。一方、迎角が 10 度以上では抗力が急増し、揚抗比が低下した。

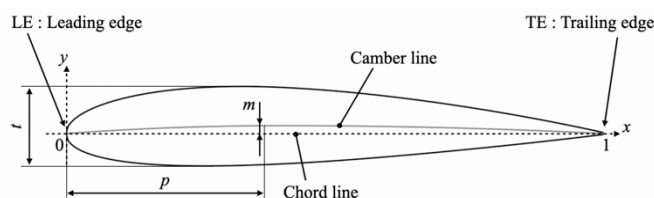
1. はじめに

揚抗比とは、揚力と抗力の比率を示す値である。この値が大きくなるほど必要な推力は小さくなり、物体の効率良く安定した飛行が可能になる¹⁾。我々は、様々な翼形の揚抗比を分析することで、揚抗比が変化する共通の条件を発見できるのではないかと考えた。そこで NACA4 桁型翼形モデルを用い、揚抗比の変化を調べた。各パラメータの表す要素は図 1 の通りで、また翼厚分布 y_t とキャンバー線 y_c は以下の式²⁾で定義される。

$$\pm y_t = \frac{t}{20} (0.29690\sqrt{x} - 0.12600x - 0.35160x^2 + 0.28430x^3 - 0.10150x^4)$$
$$\begin{cases} y_c = \frac{m}{p^2} (2px - x^2) [0 < x < p] \\ y_c = \frac{m}{(1-p)^2} \{ (1-2p) + 2px - x^2 \} [p < x < 1] \end{cases}$$

以後このフォーマットにのっとり、翼型を表す時は [1046] のように 1 桁目と 2 桁目を t , 3 桁目を m , 4 桁目を p として記載する(この場合 $t=10$, $m=4$, $p=6$ となる。)。

この条件のもとで、 t を大きくすると風に対する抵抗が大きくなり、それに伴って圧力差が大きくなることで揚力が増加すると予想できる。また p を小さくすることで、前方に最大キャンバーが発生して翼の前部での湾曲が大きくなるため、空気の流速



t : コード長に対する厚さの割合
 m : コード長に対する最大キャンバーの割合
 p : コード長に対する最大キャンバーの位置の割合

図 1. NACA 4 桁型翼形のパラメータ²⁾

は翼上部が翼下部より速くなり、ベルヌーイの定理に従って揚力が増加するという仮説を立てた。

2. 材料・研究方法

2-1. 翼形と整流器の製作

仮説を検証し、各パラメータで仰角が揚抗比に与える影響を調べるために、Python で NACA4 桁型翼形の断面を作図するコード²⁾を用いて [1022] の翼の断面形状を作成した。そのデータを fusion360 に取り込み、翼形の 3D モデルを作成して、3D プリンターで出力した。出力時にフィラメントの温度差によるひび割れが発生し、様々な対策を試みたが防止は困難であったため、出力完了後に翼をシュリンクフィルムでシュリンクすることで補修した。出力した翼形のコード長は 142mm, スパン長は 188mm である。

2-2. 製作した翼の揚力測定

作成した翼を用いて風洞実験を行った。材料は以下の通りである。

- ・作成した翼形[1022]の 3D モデル
- ・風洞装置(図 2 および図 3)
- ・サーキュレーター(TEKNOS BO-257)
- ・整流器(プラスチック製、図 4)
- ・電子ばかり(A&D コンパクト天びん EW-150i)
- ・風力計
- ・丸棒(直径 2mm, 全長 120mm, 竹製)

図 2 の寸法で主に木材で作成された角柱の筒の片方の端(以降、前端と記載)に後述する整流器をはめ込み、もう一方の端(以降、後端と記載)にサーキュレーターを筒内の空気を吸い出す向きで設置することで、前端から後端へ空気の流れが発生する風洞装置を用意した(図 2, 図 3)。整流器は、厚さ 1mm のプラスチック板を 50mm 四方の格子状に組み合わせた幅 50mm のものと、直径 6mm, 全長 30mm のストローを、風洞の内壁に隙間なく並べたものを重ねた二層構造のものを、前端から吸い込まれる際に発生する空気の乱れを整流させることを狙った。筒の中央は風洞内の様子が確認しやすいよう透明のアクリル板が使われている。また風洞内へのアクセスのため、天板は取り外しできるようになっている。底板と設置場所の机との間に高さ 70mm のブロックを噛ませ、風洞装置の下にスペースを作り、揚力を測定する際に使用する電子ばかりを設置した。

まず風洞内に生じる風速を測定するために、風力計を前端から 732mm の位置に設置し、サーキュレーターのスイッチを入れてから、風が安定した状態での風速を有効数字 2 桁で記録した。この操作を 10 回行って平均をとり、得られた値を風洞内の風速とした。

次に翼にかかる揚力の測定のために、翼を前縁が前端から 873mm の位置で迎角が 10.5 度、翼の最大キャンバー位置が底板の内壁から高さ 950mm になるように設置した。翼の設置位置の底板には、丸棒が自由に出入りできる大きさの穴

が 5 つ空いており、この 5 つの穴を通じて翼と電子ばかりが丸棒で接続されている。測定は無風の状態で電子ばかりの示す値(A)と、サーキュレーターのスイッチを入れ、風速計で風が安定したのを確認した状態で電子ばかりが示す値(B)をそれぞれ有効数字 4 桁で測定し、この値の差「値(B)-値(A)」に重力加速度をかけ、翼に発生した揚力とした。この操作を 10 回繰り返して、平均を取った。

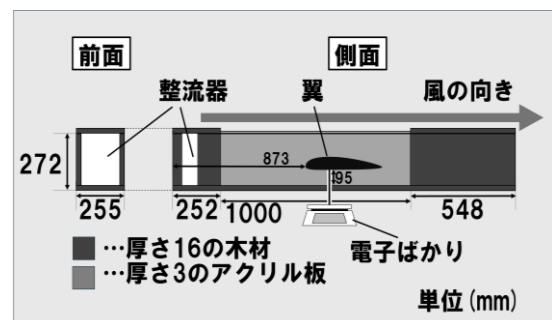


図 2. 風洞装置の模式図



図 3. 風洞装置

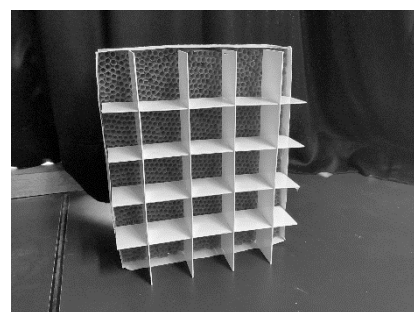


図 4. 整流器

2-3. ソフトウェアを用いたシミュレーション

様々なパターンの実機による測定は時間がかかり困難なため、シミュレーションソフトを活用して測定を行った。前述の 3D モデルを活用し flow square+(以降 fsp と記載)という 3 次元流体シミュレーションソフトで揚力を計算した。計算にあたり、翼形の各パラメータを、 t の値を 10, 15, m と p の値を 2, 4, 6 と変化させ、計 18 種の翼形を用意した。そしてそれぞれの翼形の迎角を $0 \sim 45$ 度の範囲で 5 度刻みに変化させ、計 180 通りのシミュレーションを行った。また以下に fsp 内で設定したパラメータについて記載する。

①cmode=0	⑪latts=500
②parallel=2	⑫nfig=10
③domx=1600	⑬nfile=300
④nx=120	⑭presW=1.0000E+05
⑤ny=60	⑮uinW=50.0000
⑥nz=60	⑯rhoW=1.2000
⑦lx=0.6	⑰uinB=50.0000
⑧ly=0.2	⑱mu=1.8000E-05
⑨lz=0.2	⑲ndiv=4
⑩sts=0	

上の表の①, ②はシミュレーションのモードと並列計算のレベル設定であり、密度一定の気体の解析が行われるよう設定した。③はシミュレーション画面の横幅サイズ設定で 1600 ピクセル表示となる。④~⑥は計算における格子点数の設定で x , y , z 方向にそれぞれ 120, 60, 60 と点が設けられる。⑦~⑨は計算領域の物理的なサイズを表し、上記の設定で $0.6 \times 0.2 \times 0.2 \text{m}^3$ のボックス内の流体を解析する。⑩, ⑪は計算が持続する時間を示し、シミュレーションは $0 \sim 500$ ステップの間行われる。⑫, ⑬は計算結果の出力頻度であり、シミュレーション描画画面と計算された各要素が 10 ステップごとに出力される。またシミュレーションの瞬時結果ファイルが 300 ステップ時点で出力される。⑭~⑰は計算領域内の流体の初期状態設定で、

領域全体に気圧 $1.0000 \times 10^5 \text{Pa}$, x 方向速度成分 50.000m/s , 密度 1.2000kg/m^3 が適応される。⑱は流体の粘性係数を表し、値は常温常圧の空気のものに則り $1.8 \times 10^{-5} \text{Pa} \cdot \text{s}$ とした。⑲は表示される速度ベクトルについての設定で、計算画面上で格子点 4 つごとに 1 つ速度ベクトルが表示される。

以上の設定で出力したデータのうち $100 \sim 500$ ステップ間の値を平均し、モデルに働く力 F_x , F_y をそれぞれ翼に働く抗力、揚力として扱った。

3. 結果

まず、本研究では fsp による計算の妥当性を証明するため、風洞実験と fsp での結果を比べ検証する。風洞実験において[1022]は、安定風速 2.4m/s の条件のもと平均揚力が $1.495 \times 10^{-2} \text{N}$ となった。次に同じ翼を用いて fsp で計算した平均揚力は $1.536 \times 10^{-2} \text{N}$ となった。両値の差は $0.041 \times 10^{-2} \text{N}$ と十分に小さいため、風洞実験と fsp の計算結果の誤差は許容できるといえ、fsp による計算には妥当性があると判断した。

翼型、迎角と空力特性の比較のため、fsp によるシミュレーションの結果を翼型ごとに迎角に対する揚力、抗力、揚抗比の変化としてまとめ、図 5~10 に示す。まず図 5 より、揚力は迎角が $0 \sim 30$ 度の間では単調的に増加するが、迎角 30 度以上では増加量が減少していくことがわかる。また[1024]と[1044]が他と比べ大きく異なる揚力を示す迎角があることも分かる。次に図 6 より、抗力は迎角が増加するにつれ単調的に増加することがわかる。また[1044]が迎角 15 度~ 20 度の間で抗力が全く増加しておらず、その後迎角が増加しても他の翼型と比べると抗力が小さいことがわかる。図 7 からは迎角が 5 度までは揚抗比が増加しているが $5 \sim 10$ 度でどのパラメータでも値が最大に到達しており、それ以降迎角が増加しても揚抗比は減少していくことがわかる。さらに迎角が小さいほど翼形ごとの揚抗比のばらつきは大きく、それは迎角が増加するにつれて一定の値に収束して

いくことがわかる。また図 7, 10 から t の値が増加するにつれ揚抗比は増加することがわかる。さらに m , p の値が変化したとしても同じ迎角ならば揚抗比の値があまり変化しないことがわかる。また t が 15 の場合でも m と p の値を変えてシミュレーションを行ったが、迎角 5~10 度で揚抗比が最大となり、その後減少していくという点で t が 10 の場合と同様のものが見られた。

4. 考察

まず揚力について、図 5 から迎角の値が大きくなるにつれて揚力の増加する割合が小さくなることがわかるが、これは揚力の発生する主要因の変化によるものだと考えられる。まず一つ目の要因として、翼の上面と下面に生じる圧力差が考えられる。本実験で用いたような湾曲した翼を流体中に考えると、その形状から翼の上部では下部に比べ流入が抑えられて速度が上昇する。ベルヌーイの定理より速度が上昇するにつれて圧力は低下するため、翼の上下で圧力差が生まれ、揚力が得られる。また二つ目の要因として、迎角の存在を考慮した際に、流体が翼の下部にぶつかり翼全体を押し上げることで揚力が得られると考えられる。

前者について、迎角が大きくなるほど前縁の湾曲部分が風の流入角度に対して平行に近くなり、上部と下部の流入量の差が小さくなるため圧力差が十分に得られず、揚力は小さくなると思われる。また後者については、進行方向に対して前方垂直方向に翼を投影した面積を考えると、迎角が大きくなるほど生じる力が大きくなることが推測される。以上 2 つの検討から、得られた結果である程度の迎角から揚力の増加幅が小さくなるのは圧力差による力が押し上げる力よりも大きく、揚力の増加に強く働いていることが要因であると考えられる。

抗力は角度が大きくなるにつれ風の向きに対する投影面積が大きくなり、上の例でも挙げたように風によって押し上げる力の増加と共に抵抗も増加する。そのため、抗力はグラフのような変化をする。

揚抗比は迎角が 0 度の場合はそれぞれの翼の最大キャンバー位置や反りが異なるためパラメータの差異が素直に揚力に反映されているが、角度が大きくなると前縁から最大キャンバーまでの湾曲部分が風の流入角度に対してほぼ平行になり、パラメータの差異による風の流入速度の変化がなくなる。そのため揚力の違いが現れにくくなり、0 度以降では同じような揚力の値を示すと考えられる。

5. まとめと今後の課題

仮説では、 t を増加させた場合と p を減少させた場合に揚力が増加すると予想したが、結果としてパラメータ m , p の変化は t の変化に比べると揚力に大きな影響を与えず、 t のパラメータの増加により揚力は増加した。また各パラメータの変化に比べ、迎角の変化の方が揚力に大きく影響することがわかった。揚抗比に関しては迎角が 5~10 度の間で最大となり、 t を固定させた場合それぞれのパターンのばらつきが小さくなった。 t を比較すると t の値が大きいと揚抗比も増加した。考察から揚力は圧力差と風の押し上げによって生まれるが、圧力差による力の方が風で押し上げる力よりも強いと推測できた。

また、シミュレーションソフト内で作った風洞が小さかったため、風洞内壁と翼の間隔が狭くなり想定外の揚力が発生したことが懸念される。そのため、今後の課題としては風洞の規模を大きくし、現実の環境に近づけた上で再測定し比較することを課題としたい。

6. 参考文献

- 1)skyartJapan, 2021.12.10, 揚抗比について, <https://skyart-japan.tokyo/2021/12/10/blog-78/?srsltid=AfmBOorkNLPJdDVXXknrmHZYZhkyHChys1iVtwhPAY4N3UACkjOo9a1>, 2024.1.31
- 2)wat, 2024.8.7, Python で NACA4 桁翼の断面形状を作図する方法,

<https://watlab.com/2021/0928/naca4-drawing/>, 2024.9.6

3) Mccullough, Goerge B Gault, Donald E, 2013.8.16, NASA Technical Reports Server
<https://ntrs.nasa.gov/citations/19930083422>

4) 金川 昌弘, 2021.2.9, 低レイノルズ数翼特性に与える翼厚効果に関する研究,
https://api.lib.kyushu-u.ac.jp/opac_download_md/4372213/4372213_fulltext.pdf

7. 添付資料

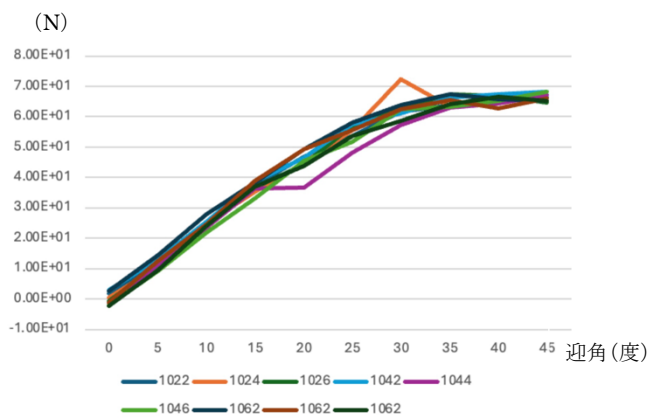


図 5. $t=10$ と固定した時の揚力の変化

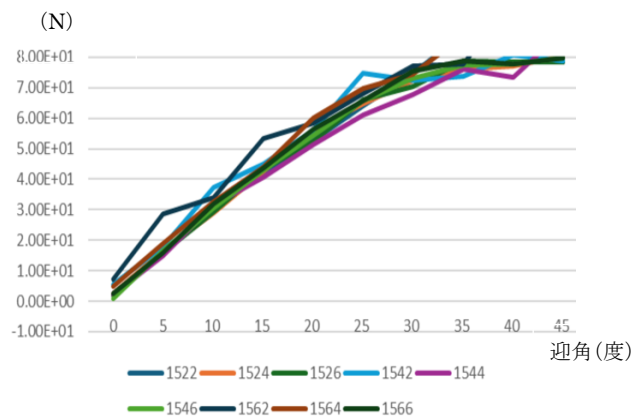


図 8. $t=15$ と固定した時の揚力の変化

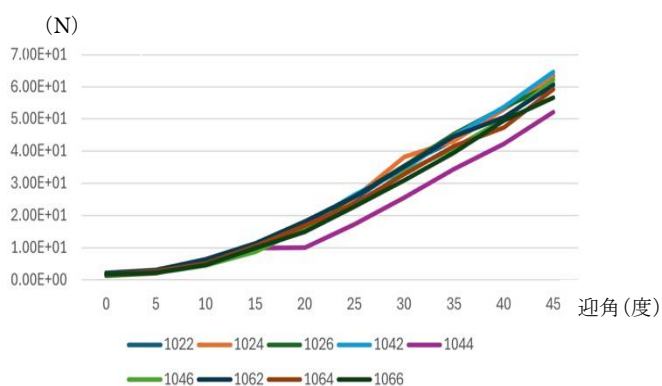


図 6. $t=10$ と固定した時の抗力の変化

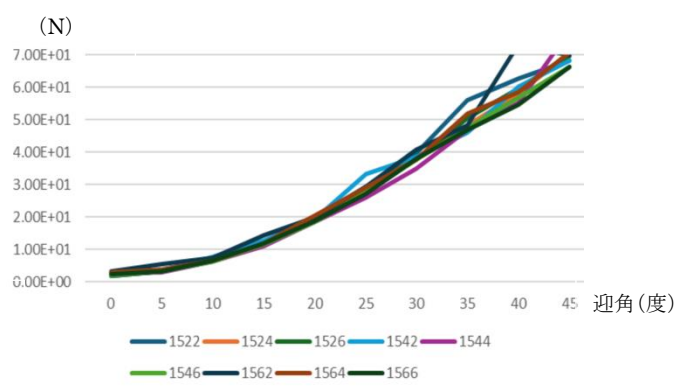


図 9. $t=15$ と固定した時の抗力の変化

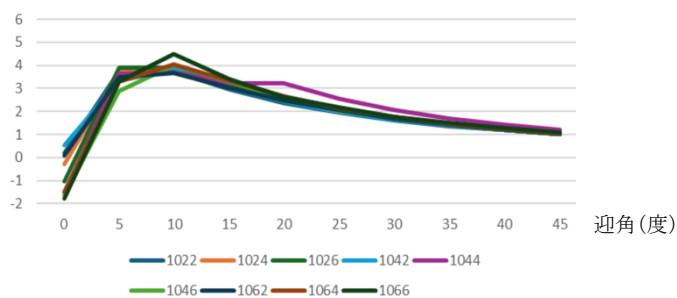


図 7. $t=10$ と固定した時の揚抗比の変化

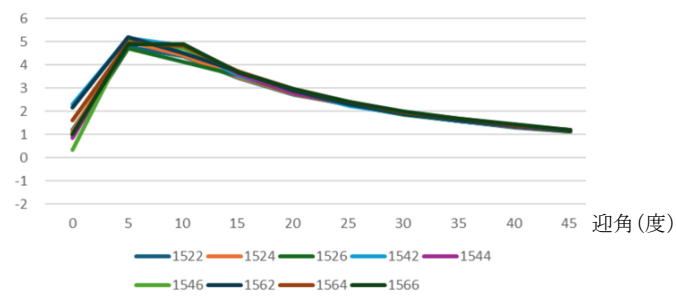


図 10. $t=15$ と固定した時の揚抗比の変化

枠に対してはみ出にくいハンコのスタンプ面の形状についての考察

田渕光希 吉野倫五 藤居壬楽

要旨

日常でハンコを押す機会は多い。その際、印影が枠からはみ出すのは望ましくない。人が確認用に押す分には問題ではないが、機械が大量に印刷をする場面などを考えれば、枠に対して適切なハンコを定めることは重要だと考えた。ハンコと枠をそれぞれ領域とし、それぞれの包含関係として数学的に問題をとらえ、ハンコのその枠に対する収まりやすさを定義し、その値が最大になる時が最適なハンコであるとした。ハンコの面積を定めたときに枠に対して最適なハンコの形は枠と相似な場合であるということを枠が凸多角形の場合に限って示すことができた。

1. はじめに

ハンコを押すときには所定の枠にはみださず押す必要がある。多くのハンコの形は円形か長方形であるが、それらの形状の時、枠からはみださずに押印するのに最適なハンコと枠の図形を調べることを目的とする。

2. 研究方法

ハンコと枠をある閉曲線で囲われた連続で面積が0より大きい図形とする。ハンコが枠からはみ出していないとは、ハンコと枠の共有部分の面積がハンコの面積と等しいことである。動けるエリアとは、図1に示されるような、ハンコに含まれる一点を取り、ハンコが枠からはみ出していないときにその点が存在できる最大の領域である。その面積は点の取り方によらない。なお、ハンコは回転しないこととし、ハンコの面積が枠の面積よりも大きい場合には動けるエリアは0とする。動けるエリアの面積が最大となるときのハンコを枠に対する最適なハンコとした。まず簡単な例として、枠が凸多角形の場合を考え、そのとき、枠とハンコの形状が相似であるときに、動けるエリアの面積が最大になると仮説を立て、それを証明することとした。

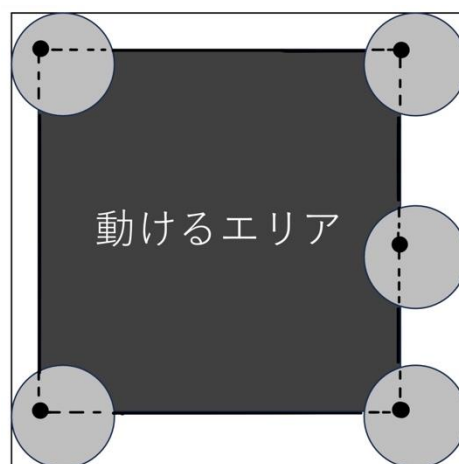


図1 動けるエリア

3. 結果

我々が示したのは以下の定理である。

定理1) 枠が凸多角形の時、ハンコの面積を固定すれば、動けるエリアの面積を最大化するのは枠と相似なハンコである。

証明のために、次の補題1を示す。

補題1) ハンコのうち最適の候補となるのは、枠と同じ辺数の凸多角形で、対応する内角の大きさが等しいものに限られる。

補題1について説明する。あるハンコに対して、指定した枠の各辺と平行な接線で囲われる多角形の図形をハンコとしても動けるエリアは変わらない。

い, また, そうして得られたハンコの面積は元のもの以上になるので, 面積が元のハンコと等しくなるように縮小することで動けるエリアの面積が元以上のハンコが得られる. 元のハンコが枠に収まっていると, この操作によって得られたハンコが枠からはみ出すことがないことから確認できる.

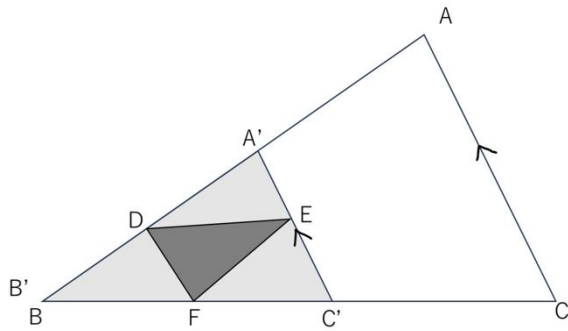


図2 三角形の場合の最適解

上に, 補題1の例を示す. 枠の三角形がABC, ハンコが三角形DEFの時, 同一の動けるエリアを持ち, 黒色の三角形より面積が大きい三角形A'B'C'を上記の操作によって得ることができる.

補題1は三角形の場合, 枠とハンコの相似条件であるので, 枠が三角形の場合に定理1を確認できた. しかし, 頂点数が3より多い凸多角形については, 対応する内角の大きさが等しい二つの図形が相似であるとは限らないので定理1の証明には不十分である.

次に枠が長方形である場合について定理1を確認する. 補題1より最適な図形の候補は長方形に限られる. まず, 枠の辺の長さを A, B と固定して考える. つぎに, 長方形であるハンコの辺の長さを a, b と置く. ハンコの面積を固定するので, ab は一定である. このとき, 動けるエリアの面積 S は

$$S = (A - a)(B - b)$$

である. AB および ab が一定であるので, 動けるエリアの面積を最大化するときは $aB + bA$ を最小化しているときである. ここで, $a' = aB, b' = bA$ と置くと, $a'b'$ は一定であるので, 積が一定の二数の和を最小化すればよく, これは, $a' = b'$ の時

に成り立つ. つまり, $a:b = A:B$ が得られ, これは長方形の相似条件となっている.

次に N を3以上の整数として, 凸 N 角形について示す. まず次の補題を証明する.

補題2) 凸 N 角形の面積は, その N 個の内角の大きさが全て定まっているとき, N 辺の長さを変数とする N 変数の二次の斉次多項式で表せる.

補題2の証明)

ある頂点を基準に反時計回りに1から N までの番号を振る. $1 \leq i \leq N$ なる i に対して点 i と点 $i+1$ ($i=N$ の場合点1)をむすぶ辺の長さの N 次のベクトル $\mathbf{l}$ とおく. また, 外角の大きさを並べたベクトルを $\mathbf{a} = \{a_1, a_2, \dots, a_N\}$, とおく. また, 外角の累積和を並べたベクトル $\mathbf{b} = \{b_1, b_2, \dots, b_N\}$ を,

$$b_i = \sum_{k=1}^i a_k$$

と定義する.

さらに,

$$\mathbf{r}(\theta) = (\cos \theta, \sin \theta)$$

と定義する.

点 N と点1を結ぶ線分が x 軸に平行であるとしてよいので, 点1から点 i のベクトルを $\mathbf{v}_i$ とすると,

$$\mathbf{v}_i = \sum_{k=1}^{i-1} l_k \mathbf{r}(b_k)$$

となる.

また, $\mathbf{v}_1 = (0, 0)$ とする. よって, すべての $\mathbf{v}_i$ において, $\mathbf{l}$ のすべての成分の次数は1以下である. 対象の凸 N 角形の面積を $S(\mathbf{l})$ とおく. ここで $\mathbf{a}$ は固定する. ここで頂点1, $i, i+1$ ($2 \leq i \leq N-1$)を頂点とする三角形の面積を d_i とおくと,

$$S(\mathbf{l}) = \sum_{k=2}^{N-1} d_k$$

であり,

$$d_i = \frac{1}{2} |\mathbf{v}_i \times \mathbf{v}_{i+1}|$$

であるので, $S(\mathbf{l})$ は $\mathbf{l}$ の成分の二次の斉次多項式となり, 補題2が示された.

補題2より, $S(\mathbf{l})$ は $N \times N$ の対称行列 P を用いて,

$$S(\mathbf{l}) = {}^T \mathbf{l} P \mathbf{l}$$

と表される.

P は対称行列なので, ある直交行列 D によって対角化可能で,

$$S(\mathbf{l}) = {}^T \mathbf{l} D^{-1} D P D^{-1} D \mathbf{l}$$

とでき, 新たに,

$$Q = D P D^{-1}$$

$$\mathbf{l}' = {}^T \mathbf{l} D^{-1}$$

とおくと, D は直交行列なので,

$$D^{-1} = {}^T D$$

であるので,

新たに N 次のベクトル $\mathbf{f}$ を,

$$f_k = \frac{l'_k}{\sqrt{Q_{k,k}}} \quad (1 \leq k \leq N)$$

で定めると,

$$S(\mathbf{l}) = \sum_{k=1}^N (f_k)^2$$

と表される.

これは, S の値を定めたとき, N 次元の球面を定める. また, 対角化に用いた D の行列式は 0 ではないので, $\mathbf{f}$ に対して, 一通りの $\mathbf{l}$ が定まる. また, $\mathbf{f}$, $\mathbf{f}'$ が互いにそれぞれのスカラー倍であるとき, それに対応する $\mathbf{l}$, $\mathbf{l}'$ も互いにそれぞれのスカラー倍である. ハンコの問題の言葉で言えば, 枠の形を定める, つまり, ある N 次のベクトル E_w 及び, ハンコの面積 S_h を与えるとき, $S_h = S(E_h)$ なる E_h のうち, $S(E_w - E_h)$ を最大にする E_h は E_w のスカラー倍である. そして, その E_h は, 枠と相似な図形を指定する. よって, 定理 1 が示された.

4. 考察

凸閉曲線からそれらの点が凸多角形を構成するように点を取り, その極限として考えると, 凸閉曲線に囲まれた形の枠に対しても相似な図形のハンコが最適と言えるだろう.

5. まとめと今後の課題

今後は凸でない多角形について, シミュレーション行い, 最適な図形を特定し, その規則について考察をする予定である.

複数の累乗数に区切られる累乗数について

伊藤和希 久野楓 鳥羽望

要旨

累乗数には144,1681,43681のように、ある桁で区切ると複数の累乗数に分割できるものが存在する。我々はそのような累乗数をプラナリア数と名付け、コンピュータを用いて発見したプラナリア数についてそれらの数の満たす条件について考察した。その結果、特定の条件を満たすプラナリア数の無限列を発見した。また、プラナリア数を n 進数で表した時、特定の条件を満たす「 n が奇数の n 進数」(以下、奇数進数)におけるプラナリア数となる数の一般式、全ての「 n が偶数の n 進数」(以下、偶数進数)における上記の十進数の場合と同様の条件を満たす無限列を発見し、偶数進数における全てのプラナリア数はピタゴラス数を元に生成されることを証明した。

1. はじめに

以前、伊藤は、
1444 ($=38^2$) , 49729 ($=223^2$) などのように、
 $c^2 = a^2 * 10^k + b^2$ ($10^k > b^2, a, b, c, k$ は自然数)
の形で表せる平方数(例： $38^2 = 12^2 * 10 + 2^2$)
について調査し、49,169,1444,1681,49729 の5
つの平方数について上記の a, b, c を用いて
 $c = ab \pm a \pm b \cdots (1)$
の形で表せることを発見した。
(例： $41^2 (= 1681) = 4^2 * 10^2 + 9^2$,
 $41 = 4 * 9 + 9 - 4$)

我々は上記の発見をもとに、前述の平方数のような数を包含する、ある桁で複数の累乗数に分割できる累乗数をプラナリア数と名付け、プラナリア数の満たす規則について考えた。

(プラナリア数の例：

$$\begin{aligned} 22^3 (= 10648) &= 1^3 * 10^4 + 4^3 * 10 + 2^3, \\ 209^2 (= 43,681) &= 2^2 * 10^4 + 6^2 * 10^2 + 9^2, \\ 7^2 (= 49) &= 2^2 * 10 + 3^2, \end{aligned}$$

$$3^4 (= 81) = 2^3 * 10 + 1^3$$

2. 研究方法

2-1. 使用ソフト

- ・Google Colaboratory
- ・Wolfram Alpha

2-2. 方法

Google Colaboratory でプログラム言語 python を用い、プラナリア数となるような自然数の組み合わせを列挙し、その規則について考察した。

3. 結果

プログラムによる列挙の結果、(1)を満たすプラナリア数は 49,169,1444,1681,49729,24019801, 249001998001,2499000199980001,...
であった。

これらの数は全て

$$c = ab + |a \pm b|$$

と表された。

4. 考察

以下得られた結果をもとにして発見したプラナリア数の持つ性質について述べる。

性質 1

$$c = ab \pm a \pm b \cdots (1)$$

を満たすプラナリア数について

$$\pm a \pm b > 0$$

すなわち(1)は $c = ab + |a \pm b|$ の形で表される.

これは, プラナリア数の定義

$$c^2 = a^2 * 10^k + b^2 \text{ かつ } 10^k > b^2 \text{ かつ } c > 0 \text{ より,} \\ c^2 > a^2 b^2 \text{ すなわち } c > ab \text{ であるためである.}$$

性質 2

10 進数におけるプラナリア数の (a, b) のうちいずれか一つは 3 の倍数である.

これは, 全ての自然数 n において

$$n^2 \equiv 0, 1 \pmod{3}, 10^n \equiv 1 \pmod{3} \text{ であり,}$$

$$c^2 = a^2 * 10^k + b^2 \text{ と定義しているため,}$$

$$(a^2, b^2, c^2) \equiv (0, 0, 0), (1, 0, 1), (0, 1, 1) \pmod{3}$$

となるからである.

以下プラナリア数を n 進数に拡張したものとして,

$$c^2 = a^2 * n^k + b^2 \quad (n^k > b^2, a, b, c, n, k \text{ は自然数})$$

と定義する.

性質 3

全ての偶数進数において

$$c = ab + b - a$$

を満たすプラナリア数は無限に存在する.

これは自然数 m を用いて底を $2m$ としたとき, 全ての自然数 k ($a > 0$ より, $m = 1$ のときのみ $k \geq 2$) において

$$a = \frac{(2m)^k}{2} - 1,$$

$$b = (2m)^k - 1,$$

$$c = ab + b - a = \frac{(2m)^{2k}}{2} - (2m)^k + 1$$

$$\text{が } c^2 = a^2 * (2m)^{2k} + b^2 \text{ かつ } (2m)^{2k} > b^2$$

を満たすためである.

また, $2m = 10$ とする時, 上記の式で表されるプラナリア数は

$$c^2 = 1681, 24019801, 249001998001, \\ 2499000199980001, \dots \text{ である.}$$

性質 4

n 進数におけるプラナリア数の一般式に

$$c = ab \pm a \pm b$$

を代入して整理すると

$$n^k = \frac{(b \pm 1)(ab \pm a \pm 2b)}{a} \cdot \cdot \cdot (2) \text{ であるから,}$$

$$\frac{(b \pm 1)(ab \pm a \pm 2b)}{a} \text{ が整数値となる任意の } (a, b) \text{ の組に}$$

よってプラナリア数を生成することができる.

このとき, (2)について,

$$n^k = (b \pm 1)^2 \pm \frac{2b(b \pm 1)}{a}$$

と表すことができるが, この式の $(b \pm 1)$ における

$\pm$ の符号は, $c = ab \pm a \pm b$ の式における

$\pm a$ の符号に一致し, $(b \pm 1)^2$ と $\frac{2b(b \pm 1)}{a}$ の間の $\pm$ の

符号は $\pm b$ の符号に一致する.

例えば, $c = ab - a + b$ を満たすプラナリア数に

$$\text{ついて, } n^k = (b - 1)^2 + \frac{2b(b - 1)}{a} \text{ と表せる.}$$

よって, 任意の自然数 n について,

$$a = 2(n + 1), b = n \text{ とおくと}$$

$n^2 + n + 1$ 進数において c はプラナリア数となり,

$$c = ab + a - b \text{ が成り立つ.}$$

$n^2 + 3n + 1$ 進数において c はプラナリア数となり,

$$c = ab + a + b \text{ が成り立つ.}$$

といった性質を導くことができる.

例) $n = 3$ のとき,

$$3^2 + 3 + 1 = 13 \text{ より, } 13 \text{ 進数について,}$$

$$a = 2(3 + 1) = 8, b = 3 \text{ であるから,}$$

$$a^2 = 64 = 4C_{(13)}, b^2 = 9_{(13)},$$

$$c = 8 \times 3 + 8 - 3 = 29 \text{ より, } c^2 = 841 = 4C_{9(13)}$$

となり成り立つ.

$$\text{また } 3^2 + 3 \times 3 + 1 = 19 \text{ より,}$$

19 進数について,

$$a^2 = 64 = 37_{(19)}, b^2 = 9_{(19)},$$

$$c = 8 \times 3 + 8 + 3 = 35 \text{より,}$$

$$c^2 = 1225 = 379_{(19)} \text{となり成り立つ.}$$

この性質より, (1)の式を満たすプラナリア数が少なくとも一つ存在する奇数進数は無限に存在すると言える.

性質 5

性質 3 における

$$a = \frac{(2m)^k}{2} - 1,$$

$$b = (2m)^k - 1,$$

$$c = ab + b - a = \frac{(2m)^{2k}}{2} - (2m)^k + 1$$

を満たすプラナリア数 $((m, k) \neq (1, 1))$ はすべて, 原始ピタゴラス数を用いて表すことができる.

(証明)

一般に, ピタゴラスの公式で知られるように $x^2 + y^2 = z^2$ を満たす原始ピタゴラス数 (x, y, z) は互いに素であり, $s > t$ を満たす自然数 s, t を用いて, $(x, y, z) = (s^2 - t^2, 2st, s^2 + t^2)$ と表せる.

ここで, $s = t + 1$ のとき,

$$(x, y, z) = (2t + 1, 2t(t + 1), 2t^2 + 2t + 1)$$

となり, この (x, y, z) は,

$$z = x \frac{y}{x+1} + x - \frac{y}{x+1} \text{ を満たし,}$$

$$\frac{y}{x+1} = \frac{2t(t+1)}{2t+2} = t \text{ より, } \frac{y}{x+1} \text{ は自然数.}$$

$$\text{よって, } a = \frac{y}{x+1}, b = x, c = z \text{ とおくと}$$

これらは

$$c^2 = a^2(x + 1)^2 + b^2 \text{ かつ } (x + 1)^2 > b^2$$

を満たしているためプラナリア数であるとともに,

$$c = ab + b - a \text{ を満たしている.}$$

また, この時,

$$a = \frac{y}{x+1} = t = \frac{x+1}{2} - 1,$$

$$b = (x + 1) - 1,$$

$$c = ab + b - a = \frac{(x+1)^2}{2} - (x + 1) + 1 \text{ であり,}$$

これは性質 3 で示した偶数進数におけるプラナリ

ア数の無限列の一般項の式の $(2m)^2$ を $x + 1$ で置き換えたものと一致している.

また, $x + 1 = 2(t + 1)$ より, $x + 1$ は2を除くすべての偶数の値を取りうる. これは, $(m, k) \neq (1, 1)$ より, $(2m)^k$ の取りうる値の範囲とも一致している.

よって, 自然数 t を用いて

$$(x, y, z) = (2t + 1, 2t(t + 1), 2t^2 + 2t + 1)$$

と表される原始ピタゴラス数を用いることにより, 性質 3 で示したプラナリア数は全て表される.

(証明終了)

なお,

$$(x, y, z) = (2t + 1, 2t(t + 1), 2t^2 + 2t + 1)$$

は, $z = x \frac{y}{x-1} - x + \frac{y}{x-1}$ も満たしており, 同様に

$$a = \frac{y}{x-1}, b = x, c = z \text{ とおくと}$$

$$c^2 = a^2(x - 1)^2 + b^2 \text{ かつ } c = ab + a - b$$

を得るが, $(x - 1)^2 < b^2$ であることから, 桁で分割することはできずプラナリア数の定義を満たさない.

その他の性質・発見

以後 q 個の p 乗数に分割できるプラナリア数を p 乗 q 分割プラナリア数とする.

p 乗3分割プラナリア数の一般式を

$$d^p = a^p * 10^i + b^p * 10^j + c^p$$

$$(a, b, c, d, i, j, p \text{ は自然数, } 10^i > b^p * 10^j,$$

$$10^j > c^p)$$

としたときの a, b, c, d によって表される(1)のような式について考えたとき,

次数が2つであることに着目すると,

$$d = abc \pm ab \pm bc \pm ca \text{ の形が考えられ,}$$

(1)の式が $c = (a \pm 1)(b \pm 1) \pm 1$ の形で表せることに注目すると,

$$d = (a \pm 1)(b \pm 1)(c \pm 1) \pm 1 \text{ の形が考えられる.}$$

現在私たちが発見した10進数における唯一の3乗3分割プラナリア数である

$$10648 (= 22^3 = 1^3 * 10^4 + 4^3 * 10^2 + 2^3) \text{ は}$$

$22 = 1 * 2 * 4 + 1 * 2 + 2 * 4 + 4 * 1$ より前者を満たし、2 乗 3 分割プラナリア数である
 $43681 (= 209^2 = 2^2 * 10^4 + 6^2 * 10^2 + 9^2)$
 は $209 = (2 + 1)(6 + 1)(9 + 1) - 1$ より後者を満たす。

$$c^2 = a^2 * n^k + b^2$$

が $c = ab + a + b$ を満たす時、すなわち

$$n^k = \frac{(b+1)(ab+a+2b)}{a} \text{ となると、両辺に } a(a+2)$$

をかけることにより、

$$a(a+2) * n^k = ((a+2)b + a + 2)((a+2)b + a)$$

が成り立つから、

$(a+2)(b+1) - 1 = A$, $a+2 - 1 = B$ (a, b は自然数より、 A は 5 以上の自然数、 B は 2 以上の自然数) とおくと、

$$(A^2 - 1) = (B^2 - 1) * n^k \dots \textcircled{1}$$

と変形できる。

特に、 $n = 10$ において $\textcircled{1}$ を満たす自然数

(A, B, k) の組及びそれらに対応する (a, b) の組は $(A, B, a, b, k) =$

$$\left(9, 3, 2, \frac{5}{2} - 1, 1\right), (41, 13, 12, 2, 1),$$

$$\left(49, 5, 4, \frac{25}{3} - 1, 2\right), \left(79, 25, 24, \frac{40}{13} - 1, 1\right)$$

$$, (251, 8, 7, 27, 3), \left(351, 111, 110, \frac{22}{7} - 1, 1\right)$$

$$, \left(2751, 87, 86, \frac{344}{11} - 1, 3\right),$$

$$\left(3001, 949, 948, \frac{79}{25} - 1, 1\right),$$

$$\left(4999, 50, 49, \frac{5000}{51} - 1, 4\right),$$

$$\left(13329, 4215, 4214, \frac{215}{68} - 1, 1\right), \dots \text{と続く。}$$

これらのうち、 b が整数である、すなわち $\textcircled{1}$ を満たすプラナリア数となるのは、この結果と $c = ab + a + b$ となるプラナリア数がコンピュータの計算可能範囲内において 1444 と 49729 のみであった

結果から $(41, 13, 12, 2, 1)$, $(251, 8, 7, 27, 3)$ のみであると予想している。

5. まとめと今後の課題

まとめ

偶数進数において、2 乗 2 分割プラナリア数は無限に存在し、それらの規則的なプラナリア数はピタゴラス数を用いて表すことができる。

また、プラナリア数が存在する奇数進数は無限に存在する。

今後の課題

現在 10 進数においてピタゴラス数で表せない $c = ab \pm a \pm b$ を満たすプラナリア数を 4 つ発見しているが、他の記数法についてもピタゴラス数で表せないプラナリア数が存在するかについて調べたい。

$\textcircled{2}$ の式をもとにすると、プラナリア数の存在しない記数法を求めることができる。現在、奇数の平方数 $(9, 25, 49, \dots)$ を底とする n 進数において、2 乗 2 分割のプラナリア数が発見されていないため、 $\textcircled{2}$ の式の考察を進めることによってそれを厳密に証明したい。また、 $c = ab + a + b$ を満たす 10 進数におけるプラナリア数は $c^2 < 10^{20}$ の範囲において 1444 と 49729 しか見つかっていないため、 $\textcircled{2}$ を満たすものが 1444 と 49729 の 2 つのみであることを証明したい。

令和 6 年度スーパーサイエンスハイスクール
研究活動報告集

令和 7 年 3 月発行

発行者 京都府立洛北高等学校

〒606-0851 京都市左京区下鴨梅ノ木町 59

TEL 075-781-0020 FAX 075-781-2520