

目 次

千尋の乗っている列車の速さはどれくらいか	1
Comparison of the train speed gained from the Doppler effect with animation	
遠藤 一希 帯施 侑介 神田 千奈見 萩原 小葵	
不快な音の分析	4
Analysis of unpleasant sounds	
大塚 智貴 大越 直宜 塩路 彩夏 仁平 あやの	
メントスコーラの噴出条件について	9
Keys and reasons of a coke and Mentos eruption	
高沢 星成 水沼 紗愛 箕川 温輝 渡辺 愛菜	
シクロデキストリンを用いたクルクミンの抽出	13
Extraction of curcumin using Cyclodextrin(CD)	
石川 愛華 稲川 開陸 稲森 陸杜 都竹 幸太郎	
ボルタ電池の研究～金属板及び合金の電圧～	17
Voltaic cell ~relationship between pole plate and voltage~	
岡村 直樹 横田 優	
木材の種類によるサルノコシカケの生育の違い	21
What does raise Sarunokoshikake	
伊藤 遼耶 鈴木 悠太 森谷 康平 山崎 浩輔	
田んぼの土を用いた発電菌の研究	24
Power-generating bacteria in rice field soil	
佐々木 瞭 塩田 陽登 寺田 大 横川 駿一郎	
テナガエビの交替性転向反応	29
Alternative turning reaction of <i>Macrobrachium nipponense</i>	
箕輪 航成 古田圭 康成 瀬谷 航	
Unity と力積を用いたひみつ道具の検証	32
Verification of secret tools using impulse and Unity	
青木 悠耶 白井 大輔 杉浦 貴志 寺門 大樹	
数当てゲームの必勝法	37
The Optimal Solution of Number Guessing Game	
上田 遥希 川村 彩乃 清水 翔太 吉田 秀樹	
Prolog と論理パズル	46
Logic puzzle with Prolog	
青山 ひなを 大嶺 輝 栗栖 葵	

千尋の乗っている列車の速さはどれくらいか

遠藤 一希 帯施 侑介 神田 千奈見 萩原 小葵

Comparison of the train speed gained from the Doppler effect with animation

Kazuki ENDO, Yusuke OBISE, Chinami KANDA, Saki HAGIWARA

Abstract

There is a train called “Unabaradentetsu” in a movie “Spirited away”. There is a scene where a train passes by a railroad crossing. By using the Doppler effect, the speed of the train can be measured. So, we got interested in the difference between the speed measured with the Doppler effect and the speed we can see in the animation. We measured the speed by several approaches and compared the results. As a result, the speed measured with the Doppler effect was faster than the speed of the animation.

1 はじめに

ドップラー効果とは、波源と観測者との間に相対速度が存在したり、媒質が動いていたりするときに、波源の振動数と異なった振動数の波が観測される現象である。特に音については、もとの音よりも高い音が聞こえたり、低い音が聞こえたりする現象のことである。音のドップラー効果は Fig.1 の式で表される。この式で、観測者の速度や音源の速度は、音源から観測者へ向かう向きを正とする。

$$f' = \frac{V - v_o}{V - v_s} f$$

$$V = 331.5 + 0.6 t$$

f' [Hz] : 観測者の受け取る音波の振動数

f [Hz] : 音源の振動数

v_o [m/s] : 観測者の速度

v_s [m/s] : 音源の速度

V [m/s] : 音の速さ

t [°C] : 気温

スタジオジブリ制作のアニメーション映画「千と千尋の神隠し」には、海原電鉄という列車に乗って踏切を通過するシーンがある。そのシーンの警報機の音の高さがドップラー効果によって変化していることが確認された。

本研究では、警報機の音の高さの変化から求められる列車の速さと、アニメーションから求められる列車の速さとの間に差があるかどうかを明らかにすることを目的とした。

2 実験方法

I 警報機の音による列車の速さの測定

まず、列車が踏切を通過するシーンの音声のデータを PC に取り込み、フリーソフト「WaveSpectra」を用いて、列車が警報機に近づくときの警報機の音の振動数と、遠ざかるときの音の振動数を測定した。

次に、近づくときと遠ざかるときについてドップラー効果の式をたて、連立して v_o について解くことで列車の速さを求めた。

Fig.1 A formula of the Doppler effect and a formula of the speed of sound wave

このとき、列車の進行方向と、警報器と列車を通る直線が成す 90° 以下の角を θ とおくと、列車の速度の成分はそれぞれ、近づくときは $-v_0 \cos \theta$ 、遠ざかるときは $v_0 \cos \theta$ となる。(Fig.2)

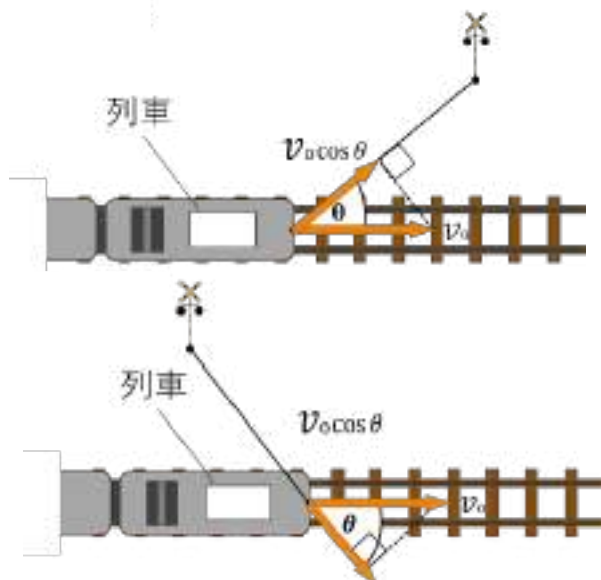


Fig.2 The image of the situation

しかし、この θ の値は列車の位置によって変化し、作中の描写から求めることが難しかった。そのため、警報機の音の高さの変化とともに移動する波の山を見つけ、その山が初めてはっきりと確認されたときの振動数と、その山が確認できなくなる直前の振動数を測定することで、可能な限り列車が警報機から離れているときの音の振動数を使い、 $\cos \theta \approx 1$ として計算を行った。(Fig.3)

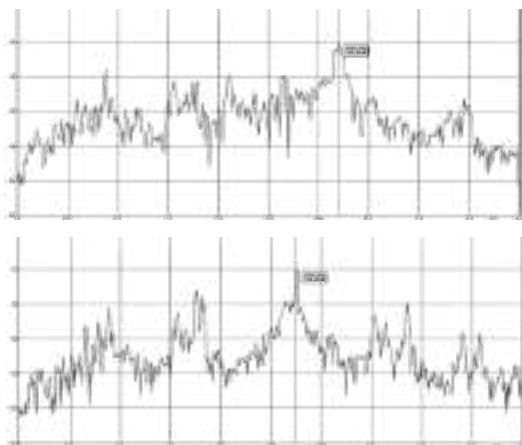


Fig.3 The graph of WaveSpectra

また、登場人物の服装などから、このシーンの気温を 20°C と仮定した。

II-1 枕木の配置間隔による速さの比較

I の結果が正しいと仮定し、走行中の列車から線路を見下ろすようなシーンから、1 秒間に通過した枕木の本数より 1 秒間あたりの平均値をとり、枕木の幅を含めた間隔を求めた。(Fig.4)

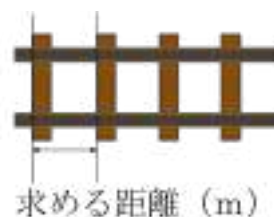


Fig.4 The image of rails

このとき、測定の誤差を小さくするため、6.0 秒間に通過した枕木の本数を数え、平均して 1 秒間に通過した枕木の本数を求めた。

II-2 枕木の配置本数の基準による列車の速さの測定

枕木は、25m 当たりの配置本数の最低基準が定められている（東日本旅客鉄道株式会社より）ため、それをもとに、25m 当たり 37 本と仮定して、II-1 と同様に 1 秒間に通過した枕木の本数を求め、列車のアニメーションの速さを求めた。

III ジョイント音による列車の速さの測定

主人公は 10 歳の少女であるため、主人公の身長を 10 歳の女子の平均身長だと仮定して、比で列車の車輪の間隔を求め、列車がレールの隙間の上を通った時に鳴るジョイント音（ガタンゴトンという音）の間隔から列車の速さを求めた。(Fig.5)

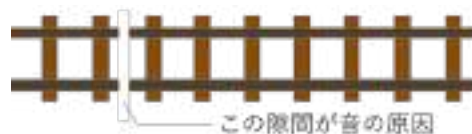


Fig.5 The cause of the sound

3 結果

警報機の音からの列車の速さの測定結果

列車が警報機に近づくとときに受け取る音の振動数を f_A 、遠ざかるとときに受け取る音の振動数を f_B としてそれぞれ式をたて (①, ②), 2式から f を消去して v_o について解いて③式を得た。

$$f_A = \frac{V+v_o}{V} f \quad \dots \text{①}$$

$$f_B = \frac{V-v_o}{V} f \quad \dots \text{②}$$

$$v_o = \frac{f_A - f_B}{f_A + f_B} V \quad \dots \text{③}$$

気温を 20℃と設定したため、音の速さは 343.5 m/sとなる。また、測定の結果、近づくときの音の振動数が 3197.7 Hz, 遠ざかるときの音が 2756.3 Hz となったため、③式に代入すると $v_o = 25.47$ m/sとなった。よって、列車の速さは 25.47 m/s, すなわち 91.69 km/hという結果になった。

枕木の配置間隔による比較結果

アニメーションから 6.0 秒間に約 52 本通過することが読み取れたため、求める距離は、 $25.47 \div (52 \div 6.0) \div 2.9$ より、枕木の幅を含めた枕木の間隔は約 2.9 mとなった。

枕木の配置本数の基準による速さの測定結果

実験Ⅱ-1と同様に 6 秒間に約 52 本通過することが読み取れたため、 $(25 \div 37) \times (52 \div 6.0) \div 5.9$ より、列車の速さは約 5.9 m/s, すなわち約 21 km/hとなった。

ジョイント音からの列車の速さの測定結果

BGM が大きすぎてはっきりと確認出来なかった。

4 考察

実験Ⅰの結果は、実際の列車の速さと比較しても不自然な速さではないと考えられる。また、実験Ⅱ-1の結果は、明らかに現実のものよりも大きな値となった。もし、実験Ⅰで求めた速さがアニメーションの速さと等しかった場合、実験Ⅱ-1の

結果は実際の長さと比較しても不自然ではない値となるはずである。しかし、実験Ⅱ-1の結果は現実のものよりも明らかに大きな値となった。このことから、警報機の音から求めた速さとアニメーションの速さに差があることがわかった。

さらに、実験Ⅱ-2の結果から、アニメーションの速さは警報機の音から求めた速さよりも著しく遅いことがわかった。

5 謝辞

株式会社スタジオジブリより、「千と千尋の神隠し」のアニメーション中の静止画の模写の使用許可、および海原電鉄でのシーンの音声の使用許可をいただきました。また、東日本旅客鉄道株式会社より枕木についての資料と確認をいただきました。この場を借りて厚く御礼を申し上げます。

6 参考文献

「改訂版 物理」数研出版

「千と千尋の神隠し」スタジオジブリ制作

不快な音の分析

大塚 智貴 大越 直宜 塩路 彩夏 仁平 あやの

Analysis of unpleasant sounds

Tomoki OTSUKA, Naoki OKOSHI, Ayaka SHIOJI, Ayano NIDAIRA

Abstract

Humans are unknowingly identifying unpleasant sounds from all everyday sounds. If the method of such a judgement becomes clear, it will be possible to prevent producing unpleasant sounds. With the aim of realizing this and discovering the reasons why the sounds are judged to be objectionable, we focused on various sound components in our daily lives, and conducted research using WaveSpectra (waveform analysis software). As a result, it was speculated that objectionability of sounds was determined by the magnitude of the sound components in the high-pitched sound pressure band.

1 はじめに

人は、日常を生きていく中で、常にさまざまな音を耳にしている。そのうえ、それらの音が自分にとって不快なのか、そうではないのか、簡単に判断することができている。その音が不快か快いかを判断する基準は、人それぞれ違うと思われる。しかし、実際はその音自体に不快にさせる成分が含まれており、人間はそれに従って判断しているのではないだろうか。それぞれの音自体における成分とはつまり、音のスペクトルである。音のスペクトルに着目すれば、どの音がどのような成分を含んでいるかを明確にすることができる。もし不快な音の成分を発見できたなら、人間が不快だと感じる音の発生を抑制することができる。

本研究では、WaveSpectra（フリーソフト）でFFT（高速フーリエ変換）を行い、12種類の音のスペクトルを可視化し、そのデータと35名を対象としたそれらの音が不快かそうでないかのアンケートの結果をもとに、音のスペクトルと音の判断との関係性を明らかにすることを目的とした。

2 実験方法

①ノートパソコンにマイクを取り付け、マイクに

音源を近づけて、音を録音した。ただし、パソコンを持っていくことが不可能な場所ではスマートフォンで録音して、それをパソコンで録音した。

②録音した音を、5点が最も不快な音、1点が最も良い音とし、それぞれの音を1～5点で評価するアンケートを生徒35名に行った。また、点数の平均値が3点より大きいものを不快な音、3点より小さいものを良い音とした。

以下、録音した音（12種）

- ・電磁ノイズ
 - ・水道脇を指で擦った音
 - ・音叉(400Hz)
 - ・音叉(340Hz)
 - ・ペットボトルをカッターで切った音
 - ・風鈴の音
 - ・インクのないペンを使用しかすれた時の音
 - ・車のブレーキの音
 - ・川のせせらぎの音
 - ・マジックテープをはがした音
 - ・黒板をひっかいた音
 - ・トライアングルの音
- なお、以後これらの音を、
- ・ノイズ

- ・水道脇
- ・音叉(400Hz)
- ・音叉(340Hz)
- ・ペットボトル
- ・風鈴
- ・ペン
- ・ブレーキ
- ・せせらぎ
- ・マジックテープ
- ・黒板
- ・トライアングル

とする。

③WaveSpectra(フリーソフト)を用いて、評価した音を以下の通りに比較した。

I アンケートによって分けた音をリニア値で比較した。

縦軸 リニア (倍率 10 倍)

横軸 周波数 (log)

FFT サンプルデータ数 131072

II アンケートによって分けた音を dB 値で比較した。

縦軸 dB (レンジ 160dB シフト Auto)

横軸 周波数 (log)

FFT サンプルデータ数 131072

3 結果

①アンケート結果 (Table 1)

アンケート結果より、良い音が順に、せせらぎ、風鈴、トライアングル、音叉(400Hz)、音叉(340Hz)、不快な音が順に、水道脇、ペットボトル、ノイズ、ペン、黒板、ブレーキ、マジックテープとなった。

②それぞれの音のリニア値比較の結果 (Fig.1~12)

平均点が 3 点より大きい音 (不快な音) は、ノイズ以外はすべて連続スペクトルを示した。しかしノイズは、不快な音と評価されたにもかかわらず、線スペクトルを示した。それに対して、平均点が 3 点より小さい音 (良い音) は、せせらぎ以外はすべて線スペクトルを示した。またせせらぎは、良い音と評価されたにもかかわらず、連続スペクトルを示した。

③それぞれの音の dB 値比較の結果 (Fig.13~24)

平均点が 3 点より大きい音 (不快な音) は、平均点が 3 点より小さい音 (良い音) に比べて、高周波数帯 (10000Hz 前後) で高い音圧 (約-60dB) を示した。

Table 1 Questionnaire results for 35 students (the higher the score is uncomfortable)

	平均点	1 点(人)	2 点(人)	3 点(人)	4 点(人)	5 点(人)
ノイズ	3.83	0	1	9	20	5
水道脇	4.43	0	0	5	10	20
音叉(400Hz)	2.51	4	11	18	2	0
音叉(340Hz)	2.69	3	8	21	3	0
ペットボトル	4.26	1	2	3	10	19
風鈴	2.11	10	15	8	0	2
ペン	3.69	1	5	8	11	10
ブレーキ	3.34	1	4	13	16	1
せせらぎ	2.00	13	12	8	1	1
マジックテープ	3.11	2	5	19	5	4
黒板	3.69	0	3	10	17	5
トライアングル	2.49	7	11	11	5	1

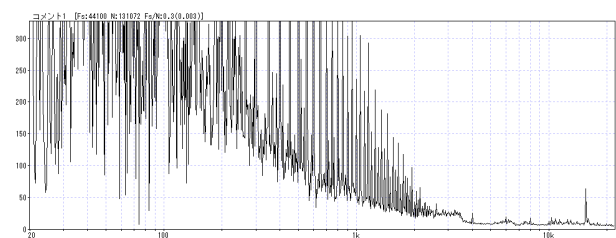


Fig.1 The sound of noise

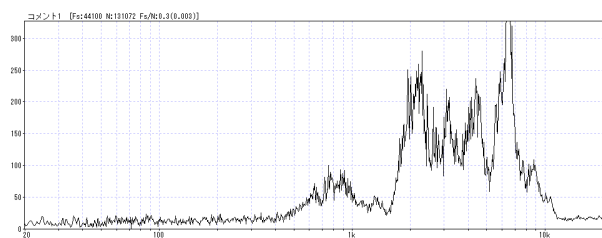


Fig.7 The sound of a hazy pen

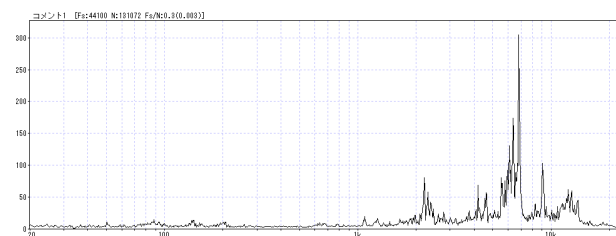


Fig.2 The sound of rubbing the side of the water supply

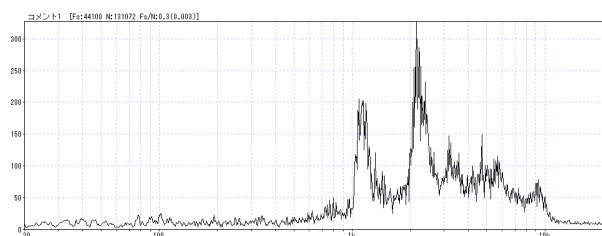


Fig.8 The sound of a brake

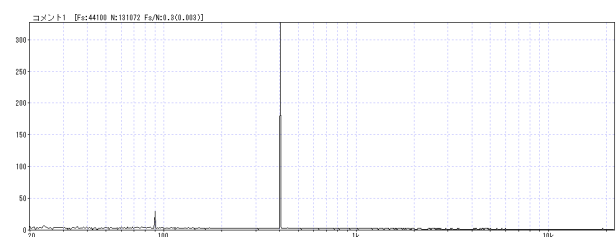


Fig.3 The sound of a tuning fork (a high-pitched tone)

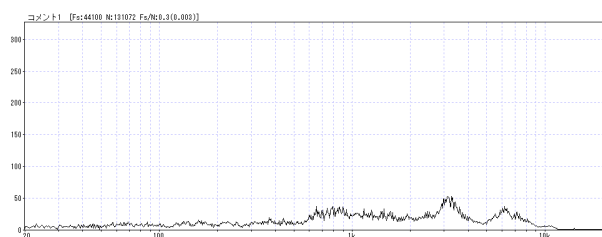


Fig.9 The murmuring of a stream

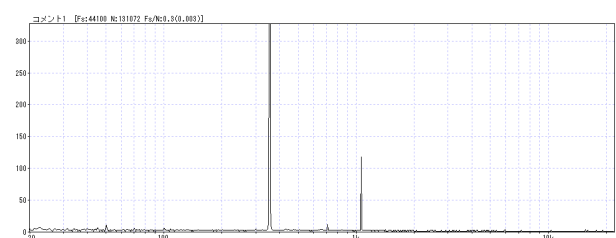


Fig.4 The sound of a tuning fork (a low tone)

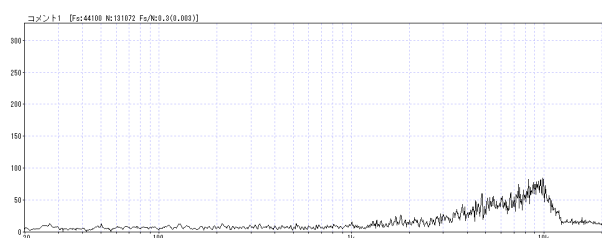


Fig.10 The sound of the magic tape is to be tossed out

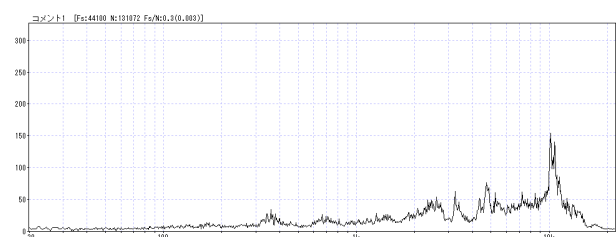


Fig.5 The sound of cutting a plastic bottle with a cutter

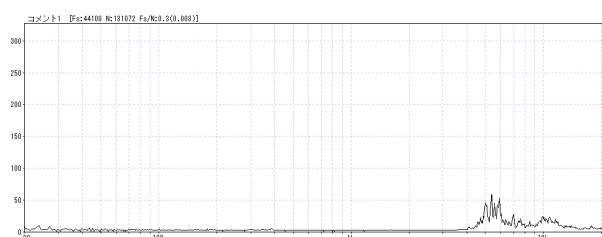


Fig.11 The sound of scratching the blackboard

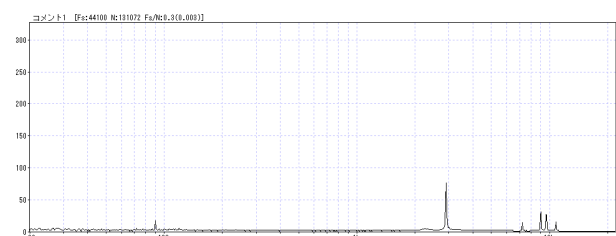


Fig.6 The sound of a wind-bell

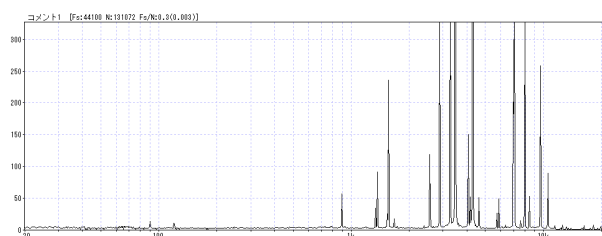


Fig.12 The sound of a triangle

Fig.1~12 Results of linear value

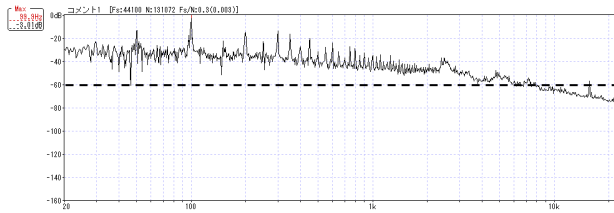


Fig.13 The sound of noise

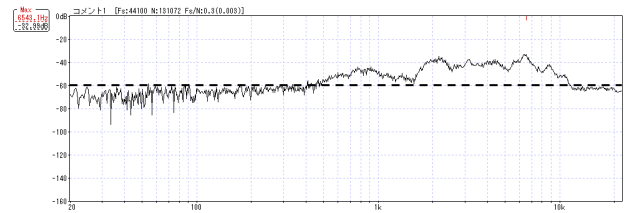


Fig.19 The sound of a hazy pen

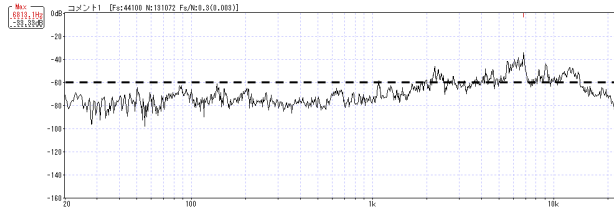


Fig.14 The sound of rubbing the side of the water supply

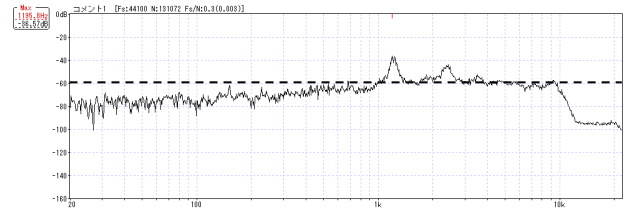


Fig.20 The sound of a brake

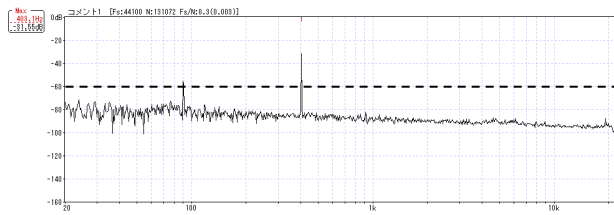


Fig.15 The sound of a tuning fork (a high-pitched tone)

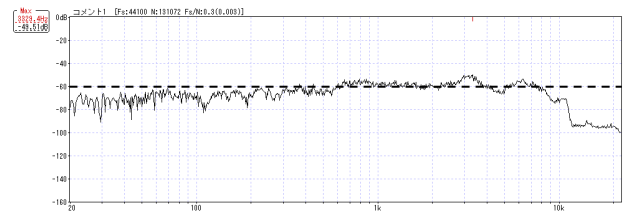


Fig.21 The murmuring of a stream

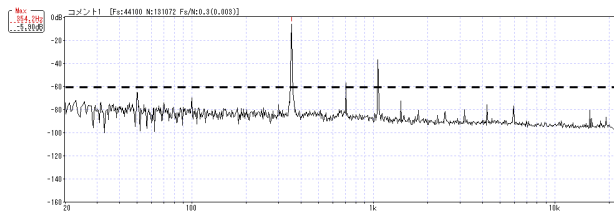


Fig.16 The sound of a tuning fork (a low tone)

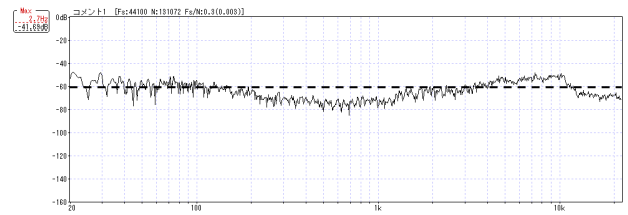


Fig.22 The sound of the magic tape is to be tossed out

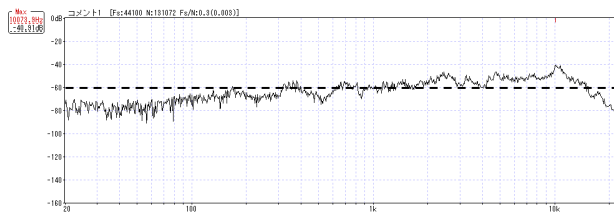


Fig.17 The sound of cutting a plastic bottle with a cutter

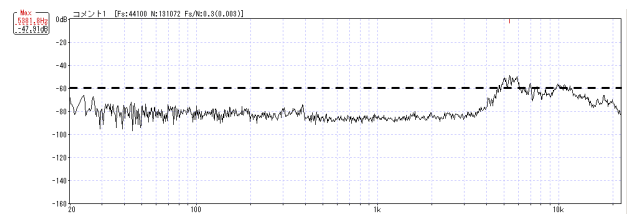


Fig.23 The sound of scratching the blackboard

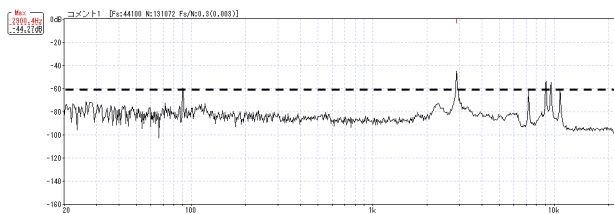


Fig.18 The sound of a wind-bell

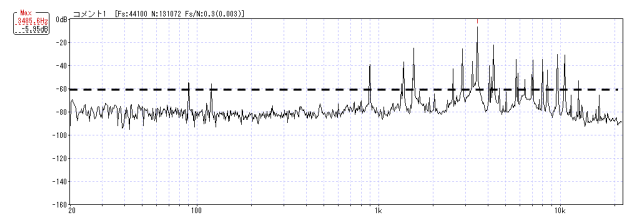


Fig.24 The sound of a triangle

----- -60dB value

Fig.13~24 Results of dB value

4 結論

結果②より，ほとんどの不快な音は連続スペクトルを示し，良い音は線スペクトルを示した。しかし，ノイズやせせらぎのように，例外の音も存在した。また，結果③より，すべての不快な音は高周波数帯で高い音圧を示した。したがって，人が不快と感じる音は，ほとんど連続スペクトルを示し，高周波数帯に高い音圧を持っている傾向がある，と考えられる。

5 今後の展望

先に結論付けた事象が，本当にすべての音で成立するのかはまだ実証できていない。また，ノイズやせせらぎのような例外が発生した理由も発見には至らなかった。今後は，これらの問題の解決を目標として研究を続けていきたい。

メントスコーラの噴出条件について

高沢 星成 水沼 紗愛 箕川 温輝 渡辺 愛菜

Keys and reasons of a coke and Mentos eruption

Sena TAKASAWA, Sayana MIZUNUMA, Atsuki MINOKAWA, Aina WATANABE

Abstract

There is a reaction called a coke and Mentos eruption. The carbonated beverage spray out of its container by the reaction between the carbonated beverage and Mentos. We did three experiments to find reasons of the reaction and the keys which make eruption higher. As a result, the reason is that when Mentos were dropped into carbonated beverage, it led to the rapid nucleation of carbon dioxide gas bubbles precipitating out of solution. And Mentos's porous structure is one of the keys. Another key is aspartame included in diet coke.

1 はじめに

一昔前に流行した「メントスコーラ」という遊びをご存じだろうか。メントスコーラとはコーラにメントスを投下するとコーラが高く噴き出るものである。しかしながら、数多くの人がこの現象が引き起こされる原因を知らない。

そこで、どのような条件でこの現象が起こるのか、またどうすればさらに高く噴き出るのか、実験を行った。



Fig.1 Mentos coke example

2 実験方法

I メントスを投下する液体の比較

炭酸飲料であればコーラのように噴き出す現象が起きるのかを調べるために、メントスを投下する液体を比較した。

比較する液体

コカ・コーラ ゼロ (Fig.2)

WILKINSONTANSAN (Fig.3)

II コーラに投下する物体を比較

① メントスの何が反応しているのかを調べるために、メントスの表面等を観察した。また、この結果を踏まえ、③の物体を設定した。

② メントスの表面を削り投下し、削る前と比較する (Fig.6)。

③ メントス以外の物体を投下し、比較する。

比較する物体：沸騰石

洗剤

沸騰石＋洗剤

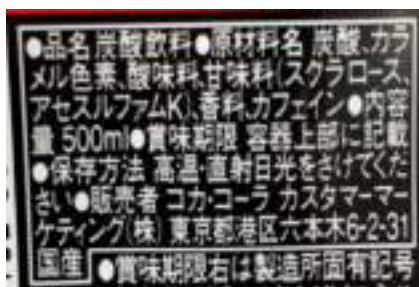


Fig.2 Ingredients of coke



Fig.3 Ingredients of WILKINSON TANSAN



Fig.4 Polished Mentos

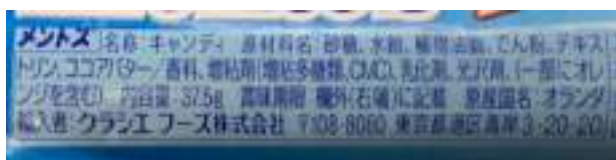


Fig.5 Ingredients of Mentos

3 結果

I コカ・コーラ ゼロにメントスを投下した。

場合、高く噴き上がり、液体量が3分の2程度まで減少した (Fig.6)。



Fig.6 Reaction of coke and Mentos

WILKINSON TANSANに同様の操作を行った場合、液体は容器から噴き出ず、泡が少し発生したのみであった (Fig.7)。



Fig.7 Reaction of sparkling water and Mentos

II ① メントスの表面を顕微鏡で観察した結果、多孔質であることが分かった (Fig.8)。



Fig.8 Surface of Mentos

II ② 表面を研磨したメントスをコーラに投下した場合、泡がこぼれる程度には噴き

出たが、噴き上がるほどではなく、他の実験と比較して、泡の発生時間が長かった (Fig.12)。



Fig.12 Reaction of Polished Mentos and coke

- II ③ コーラに沸騰石を投下した場合、メントスを投下した時と同様に高く吹き上がり、液体量も 3 分の 2 程度まで減少した (Fig.9)。



Fig.9 Reaction of boiling stone and coke

同様の操作を洗剤で行った場合、全く吹き出ず、洗剤のものとみられる白い泡が少量発生していた (Fig.10)。



Fig.10 Reaction of detergent and coke

コーラに沸騰石と洗剤を同時に投下した場合、沸騰石のみの時より低く吹き上がったが、洗剤の泡に邪魔されて泡の高さが落ちているように見える (Fig.11)。



Fig.11 Reaction of detergent,boilingstone and coke

4 考察

I からメントスコーラは炭酸であることよりも、コーラであることが重要であると考えられる。

これはコーラ内に存在する人工甘味料による界面活性作用がこの現象に関わっているからと考えられる。

II から多孔質であることがこの現象が発生する条件の一つであると考えられる。

炭酸中では、二酸化炭素はかなり不安定な状態であり、常に溶液中から脱出しようと試みているため、脱出の手助けになる形状及び作用としてメントスの多孔質、コーラの人工甘味料に

よる界面活性作用が要因となっていると思われる。

人工甘味料について、主にアスパルテームが界面活性剤として作用していると考えられる。

アスパルテームの構造式 (Fig.13) を見たところ、 -COOH (カルボキシ基) と -NH_2 (アミノ基) が親水基として、ベンゼン環 (フェニル基) が疎水基として働くことによって、界面活性剤となっている。

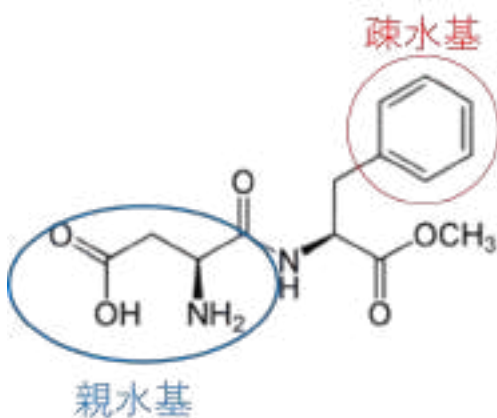


Fig.13 structural diagram of Aspartame

シクロデキストリンを用いたクルクミンの抽出

石川 愛華 稲川 開陸 稲森 陸杜 都竹 幸太郎

Extraction of curcumin using Cyclodextrin(CD)

Manaka ISHIKAWA, Kairi INAGAWA, Rikuto INAMORI, Kotaro TSUDUKU

Abstract

Cyclodextrin (CD) can be used to selectively extract curcumin which is pigment component from turmeric. The method was investigated and it was found that it took two days to extract the curcumin from turmeric. Then, we examined whether there was a more efficient method. Firstly, turmeric was added to the aqueous solutions of three CDs (α , β , γ) and water and stirred, but there was no difference among the four. The results of HPLC analysis also showed that none of them were able to selectively extract curcumin. Next, when the concentration conditions were aligned, only the aqueous solution of α -CD showed a difference in color.

1 はじめに

シクロデキストリン (CD) とは、複数のグルコース (Fig.1) がグリコシド結合によって環状に結合した物質である。CD は構成されるグルコースの数によって α -CD, β -CD, γ -CD の 3 種類に大きく分類することができる。 α -CD が最も小さく、構成されるグルコースの数が 6 つ, β -CD が 7 つ, γ -CD が 8 つで最大の大きさである。グルコースの数が違うことに応じて、グルコースによって作られる環の大きさが異なる。CD は環の中にゲスト分子を閉じ込める (包接する) ことによって包接化合物を形成する。

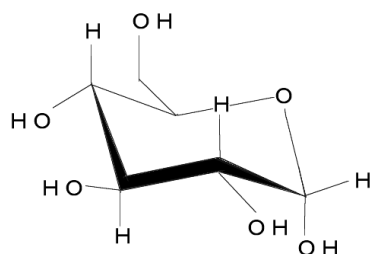


Fig.1 α -glucose

CD は外側に親水基、内側に疎水基を持つ構造で、難溶性の物質を包接して水に可溶にすることができ、環の大きさによって包接する物質も異なる。また CD は条件により、包接した物質を解離

する (徐放) ことも可能である。この特性から、CD を用いた包接化合物は身の回りでも利用されている。その一つがワサビの包接である。ワサビに含まれる成分、シニグリンはすりおろすと加水分解されてアリルイソチオシアネートという物質を生じる。アリルイソチオシアネートはワサビの辛味・香りの成分であるが、揮発性のため、長期間の保存ができない。そこで、CD にワサビの成分を包接し、風味の保持を可能にした。さらに、DDS (ドラッグデリバリーシステム) と呼ばれる手法に用いることにも注目されている。DDS とは、効果的な量の薬を適切な箇所に、必要な時間に作用することを意味する。これによって薬の服用量を少なくし、その副作用を軽減することができる。CD を用いることで、適切な箇所に薬を輸送し、解離することが実現すると期待されている。

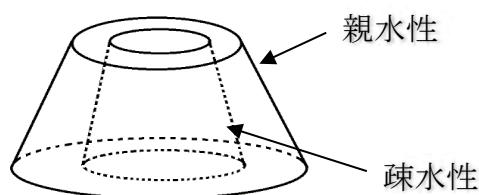


Fig.2 Schematic diagram of CD

本校の先行研究では、CD によるヨウ素・フェノールフタレインの包接を行った。私たちはこの CD という物質に有用性を見出し、CD を用いた研究をしようと考えた。

クルクミンは、黄色の水に難溶性の物質である。ターメリック（ウコン）の色素成分であり、カレー粉や二日酔いを防止する機能性成分として用いられている。インターネット上で、CD を用いたクルクミンの包接を知った。その方法について調べると、クルクミンの包接には二日間の攪拌が必要であると記載されていた。私たちは2日間という長すぎる攪拌時間に疑問を持ち、検証、さらに、攪拌に必要な最短の攪拌時間について研究することを試みた。

2 実験

実験 I

先行研究の再現を試みた。3つの 100 mL ビーカーに、精製水（50 g）を入れ、それぞれ α -, β -, γ -CD（1.0 g）を溶かした（1.96 %）。その CD 溶液にウコンチップ（2.5 g）を入れ、マグネティックスターラーを用いて2日間攪拌した。CD を溶かさない精製水にウコンチップをいれたものも同様に行った。攪拌後の溶液をろ過（ろ紙 No.2）し、ロータリーエバポレーターで水を除去した後、HPLC で分析した。HPLC は、ポンプ：JASCO 2086, 検出器：JASCO 2075-UV（ $\lambda=230\text{nm}$ ）を使用し、カラムには、Shodex シリカ C18M（20mm ID×25cm）を使用した。

実験 II

ウコンチップをターメリックに変えて、ろ過までの工程を実験 I と同様に行った。各 CD 水溶液は質量パーセント濃度での調製からモル濃度（0.01 mol/L）での統一にした。

使用した試薬量は以下の通り。括弧内は計算上の質量である。

α -CD 0.97 g (0.97285 g)

β -CD 1.13 g (1.13499 g)

γ -CD 1.30 g (1.29713 g)

3 結果

3-I

2日間攪拌した後のそれぞれの溶液は、ウコンチップが粉碎され、粘度が上がっていた（Fig.3）。ろ過した後、色合いを比較したところ、各 CD 水溶液と水の間に大きな差異は見られなかった。また、HPLC を用いてろ液の分析を行ったところ、明らかに複数の物質が含まれていることが分かった。



Fig.3 The solution after 2 days of stirring (experiment I)

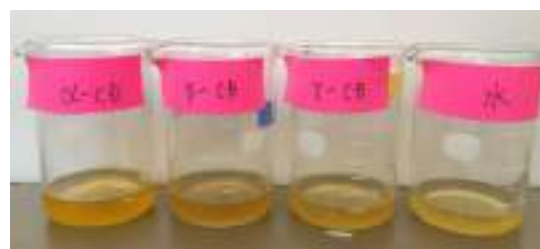


Fig.4 The solution after filtration (experiment I)

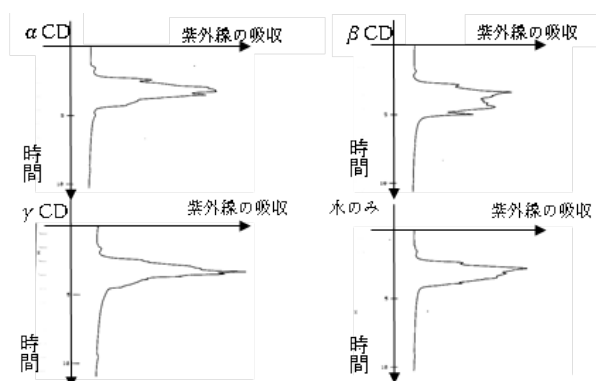


Fig.5 Chromatogram of HPLC analysis (experiment I)

3 - II

α -CD 溶液のみ攪拌後の色が赤みがかった色となった。他の CD 溶液および水は黄色が強かった。

ろ過後の溶液も同様に α -CD 溶液のみ色が他の溶液と異なり赤みがかった色であった。



Fig.6 The solution after 2 days of stirring (experiment II)



Fig.7 The solution after filtration (experiment II)

4 考察

α -CD 水溶液のみが他と比べて異なる色をしている (Fig.3, Fig.4) ことから、先行研究の通り α -CD のみがクルクミンを包接している可能性が高いと考えられる。クルクミンは塩基性下では赤色系統に色が変わることから、 α -CD と包接することでクルクミンの構造が変化し、塩基性条件下と同様の構造になっているのではないかと推測でき、包接の際にクルクミンが CD の環状構造にはまっているだけでなく、CD とクルクミンの間に何らかの結合がはたらいていると考えられる。

HPLC を用いてクルクミン及び CD 溶液の混合物を分析したところ、Fig.5 のようなクルクミン以外と思われる物質が多数確認された。このような結果が出てしまった原因として、ウコンチップやターメリックを入れた水溶液をマグネティック

スティーラーで 2 日間攪拌したため、結果的に粉碎しながら攪拌したことになってしまった。このことがクルクミンの他にも別の物質を抽出してしまったことにつながった可能性がある。

5 今後の展望

クルクミン入りの CD 水溶液の攪拌方法を検討する必要がある。先行研究において、2 日間攪拌とだけ記述されていたので、通常考えられる攪拌の方法としてマグネティックスターラーを用いたが、他の攪拌方法や攪拌せずに静止した状態で長時間置いておくというような方法も検討していきたい。また、ろ過の際に用いるろ紙の孔の大きさも検討の余地があり、異なるろ紙を用いた場合の比較を行いたい。

HPLC での分析では、適切な展開液の検討が課題となる。文献で調べたところ、アセトニトリルを用いてクルクミンの分析を行っているものがあつた。今回の実験では、メタノールを用いている。その違いもでている可能性も考えられる。また、標準物質として純粋なクルクミンを HPLC で分析し、自分たちが抽出したものの中に同じものが含まれているのか確認したい。

6 参考文献

- Tomobe, M., S. Oguchi, Y. Fuii, E. Inaba, 2020. Chemical reaction of Iodine ~stabilize iodine by enclosing it in cyclodextrin~. 茨城県立緑岡高等学校令和元年度 S S 課題研究論文集. 21-24
- Kurosaki, H., T. Takahashi. 2019. Odor control methods using Cyclodextrin. 茨城県立緑岡高等学校平成 30 年度 S S 課題研究論文集. 19-23
- Sakuraoka, S., R. Sunakawa, Y. Nishi, Y. Umino. 2017. Inclusion condition of a smell and a pigment with Cyclodextrin. 茨城県立緑岡高等学校平成 28 年度 S S 課題研究論文集. 20-24
- Kubota, Y., S. Sukegawa, N. Otani, N. Hori, H. Watahiki. 2016. Inclusion condition of a pigment with Cyclodextrin. 茨城県立緑岡高等学校平成 27 年度 S S 課題研究論文集. 13-18

第 74 回シクロデキストリンによる植物中の機能性成分の

抽出①クルクミン(2019/5/22)

(<http://www.cyclochem.com/cyclochembio/research/074.html>)

栄養ドリンク中のクルクミンの分析(2020/1/29)

(https://www.gls.co.jp/technique/app/detail.php?data_number=LT088)

UHPLC によるウコン含有食品中クルクミンの測定例

(2020/1/29)

(https://www.hitachi-hightech.com/file/jp/pdf/products/science/apli/ana/aslc_041.pdf)

ボルタ電池の研究～金属板及び合金の電圧～

岡村 直樹 横田 優

Voltaic cell ~relationship between pole plate and voltage~

Naoki OKAMURA and Yu YOKOTA

Abstract

Voltaic cell is a kind of chemical battery which has a characteristic: the decline of voltage caused by polarization. In a chemistry textbook, there is only a simple description about the cell. Also, it isn't clear about a relation between the voltage and the condition of electrode. For learning this, we control the cell's condition or replace regular electrode with other kinds of metal or alloy, and measured a change of voltage with a data logger. As a result, the concentration of electrolyte and the size of electrode effected the drop speed of voltage. Besides, the ionization tendency of electrode and the oxidation of electrode effected the maximum voltage.

1 はじめに

ボルタ電池とは、導線で繋いだ2種類の金属（正極に銅、負極に亜鉛）を希硫酸に浸して電気を得る化学電池である（Fig.1,2）。ボルタ電池は1800年頃にイタリアの物理学者のボルタによって発明された一次電池で「最初の電池」とされている。しかし、教科書にはボルタ電池における基本的な酸化還元反応や、記述されているものの、参考として軽く触れられているだけで、詳しい研究や説明がされていない。それに加えてボルタ電池が記述されている文献もあまり見ない。私達はボルタ電池に興味を持ち、化学室でたまたま見つけた電気炉から合金を関連させて考えられないかと思い、この研究を始めることにした。

教科書の図の通りにCuとZnを用いた実験を行い、電圧変化を測定したところ、教科書の記述と異なる反応がみられた。教科書では電圧がすぐに低下する、銅板に水素が付くと記載されていたが、実際はそのようなことはなく約1Vで安定したままで銅板上における水素の発生も確認できなかった。また、教科書には（Fig.1）のような記載のみで、極板に関する面積などの

条件についても不明瞭な点が多く、そこで私達は合金にとりかかえる前に、ボルタ電池への理解を深めるための基礎的な実験を試みる必要があると考え、金属板の種類、金属板の面積を変え、それらの条件と電圧の関係を探る実験を行った。

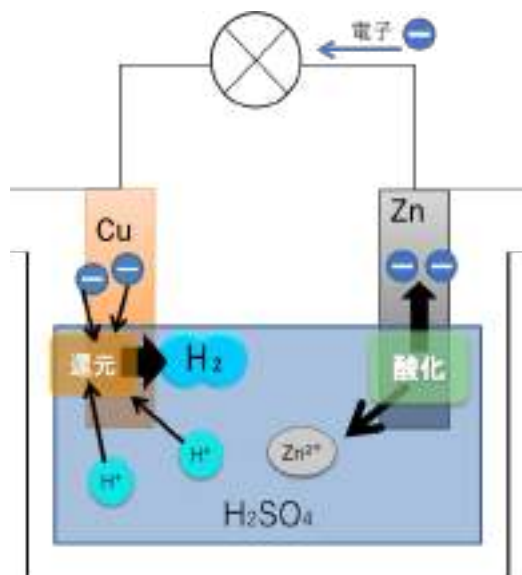


Fig.1 The principles of Voltaic cell

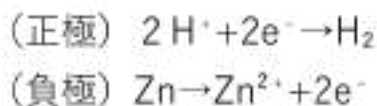


Fig.2 The redox reaction of Voltaic cell

2 実験方法

使用器具・機材

希硫酸 (25mL), データロガー (Labdisk gensci), 電子オルゴール (ケニス株式会社), 金属板 (45mm*15mm), 希硫酸 (25mL)

実験内容

(Fig.3) のように作った回路で, 電圧の記録を開始した後に 2 枚の極板を希硫酸の中へ同時に浸し, 電圧の発生から 5 分間の記録を Excel でグラフ化する。

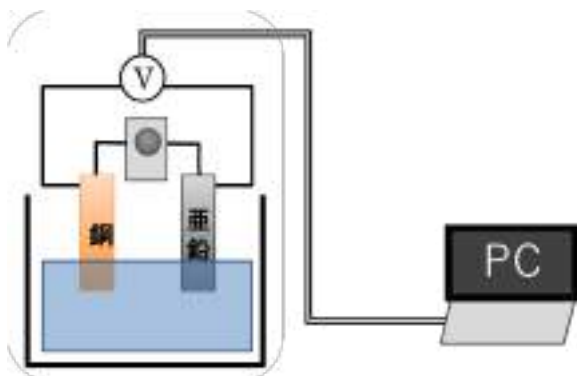


Fig.3 An image of experiments

I 金属板の面積

最初に, 電解質に触れる金属板の面積を変えた場合の電圧への影響を調べるために, 片方の金属板の面積を 3 分の 1 にして電圧を測定した。面積が減ることで酸化還元反応の効率が下がり, 電圧の値が低下すると予想を立てた。

II 金属板の組み合わせ

次に, 銅や亜鉛に加えてニッケル, マグネシウムの 4 種類の金属板のうち 2 種類を用いて, それぞれの電圧の値を測定した。また, 組み合わせごとの正極, 負極の決定は金属のイオン化傾向を参考にイオン化しやすい金属を負極にした。電圧の値は標準電極電位の値に関係すると予想した。

III 銅の表面の酸化被膜

II より, 反応で酸化被膜がとれることから, 酸化被膜による電圧の影響を調べた。

IV 合金

化学室で作成可能だった青銅を作成し, 極板として用いた場合の電圧変化を測定した。その

際, 青銅の比率 (銅 : スズ) を 1:1, 2:1, 9:1 に変えて比率による電圧への影響を比較した。また, 比較のために純粋な銅とスズを用いた場合の電圧も測定した。

合金の作成方法 (Fig.4)

- I 専用の内るつぼにスズ, 銅, 炭を入れる。
- II るつぼを耐熱容器に入れ, 電子レンジを用いて, 500W で 20 分間加熱する。
- III できた合金を板状に加工する。

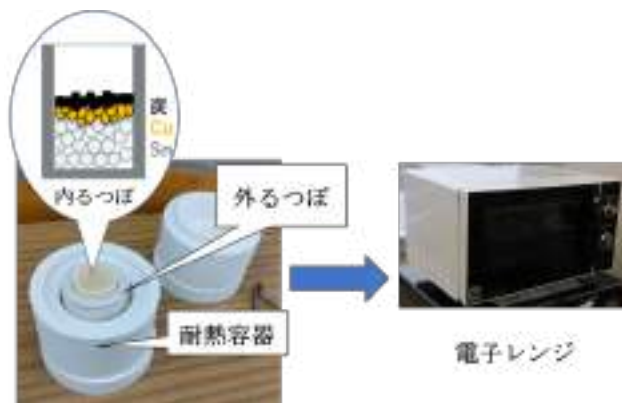


Fig.4 How to make alloy

3 結果

I 金属板の面積

亜鉛と銅どちらの場合においても電圧の低下がみられた。また銅の面積が狭い場合は電圧の低下速度が大きくなり, 亜鉛の場合と比べて電圧低下の値が大きくなった。(Fig.5)

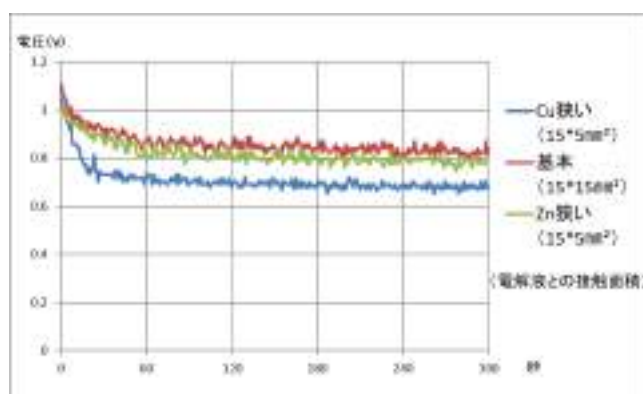


Fig.5 Results about the size

面積を狭めたことで酸化還元反応の効率が下がり, 電圧の低下が起きたと考えられる。また, 反応に直接反応しない筈の銅のほうが電圧への影響が大きい理由について更なる実験が必要と考える。

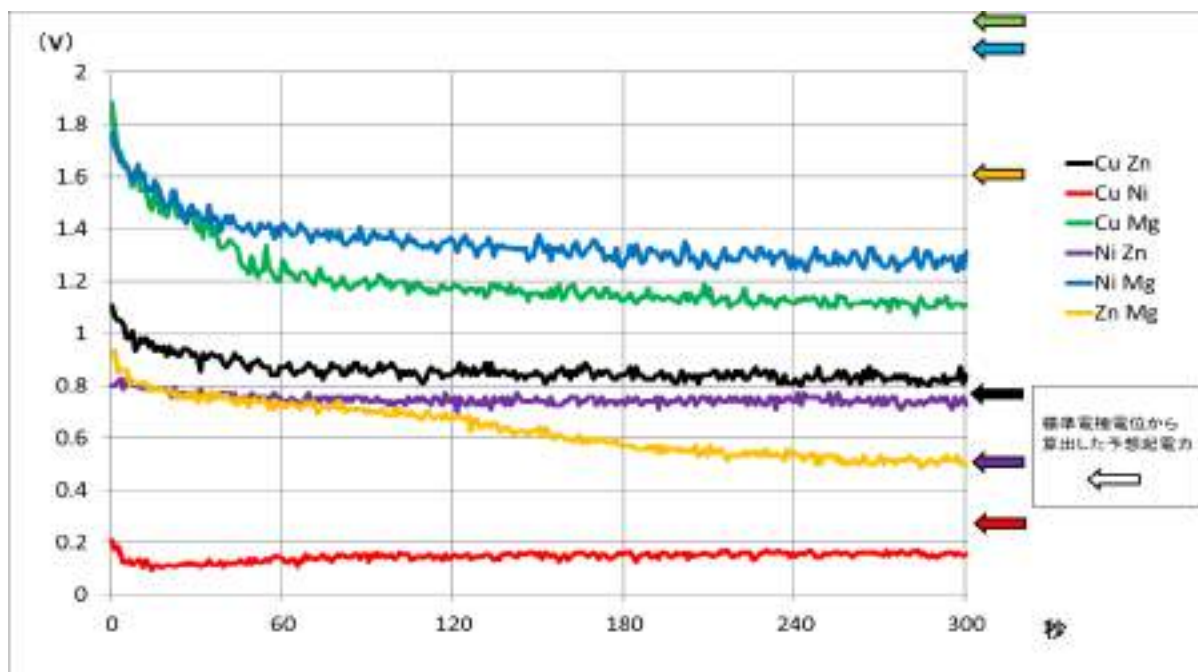


Fig.6 Results about combination of metal plate

II 金属板の組み合わせ

電圧の変化のしかたが組み合わせごとにより、標準電極電位と異なる値をとった。(Fig.6)

また、希硫酸と金属板の反応によって銅は表面の酸化が無くなり、亜鉛とマグネシウムは希硫酸との反応で水素を発生して溶け、表面が激しく反応したが、ニッケルは気体の発生や表面の変化が見られなかった。(Fig.7)

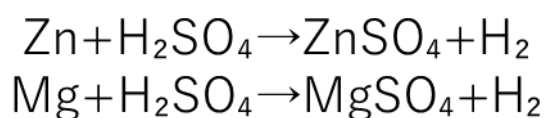


Fig.7 Appearance of electrodes

反応が最も激しかったマグネシウムを用いた場合、マグネシウムと希硫酸との反応で水素が激しく発生してしまい、マグネシウム表面が水素の気泡で覆われてしまうことでマグネシウムのイオン化が起こりにくくなったと考えられ、亜鉛についても同様の理由で電圧が下がったと考

えられる。ニッケルに関しては、金属の自然酸化で表面の酸化が不動態のような性質を示し、希硫酸によるイオン化が起こりにくくなったと考察できる。また、銅の表面が変化していることから、表面の酸化部分の還元が電圧の変化へ関与していることがこの実験で推測できる。

つまり、各金属と希硫酸の反応について、表面の酸化や水素の反応等の点で違いが電圧の値に影響し、標準電極電位と異なる結果になったと考えられる。

III 銅の表面の酸化被膜

表面の酸化があると電圧が 1.1V になり、約 0.8V まで電圧の低下がみられた。酸化被膜がない場合は約 0.8V の値で安定した。

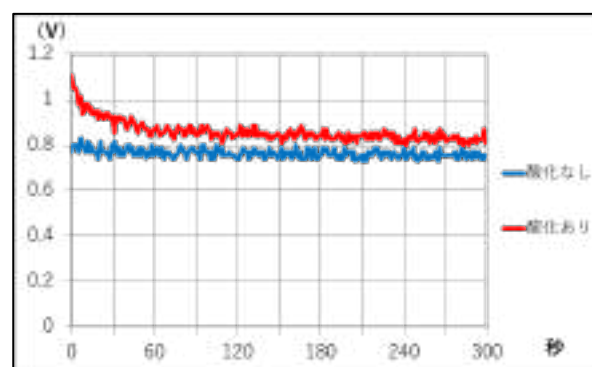
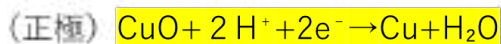


Fig.8 Results about oxidation

銅板表面の酸化で還元反応が起こることで電圧の値に影響を与えていると考えられる。また、ボルタ電池の起電力の 1.1V は表面の酸化によるものだと考えられる。加えて、実験Ⅰの銅板のほうが電圧低下に与える影響が大きくなったのは表面の酸化によって還元反応が起きたからだと考えられる。



Ⅳ 合金

電子レンジを用いたことで簡単に合金を生成することができた。(Fig.9)



1:1 9:1 2:1

Fig.9 The ratio of alloy

比率が 1:1, 2:1 の青銅を用いたときはスズを用いた場合と同じ電圧をとり, 0.5V で安定した。(Fig.10)

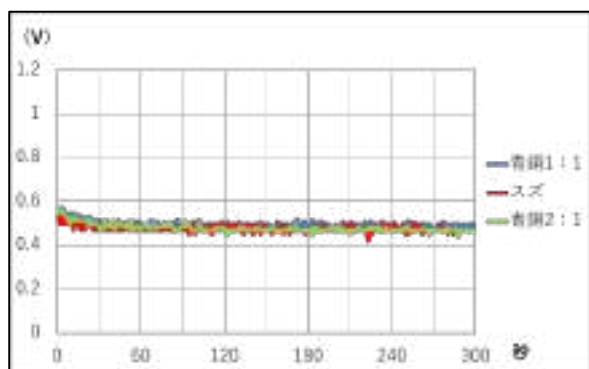


Fig.10 Results about alloy

比率が 9:1 の青銅を使用した場合、銅を用いた場合の電圧とほぼ同じ電圧の値と変化を示した。(Fig.11)

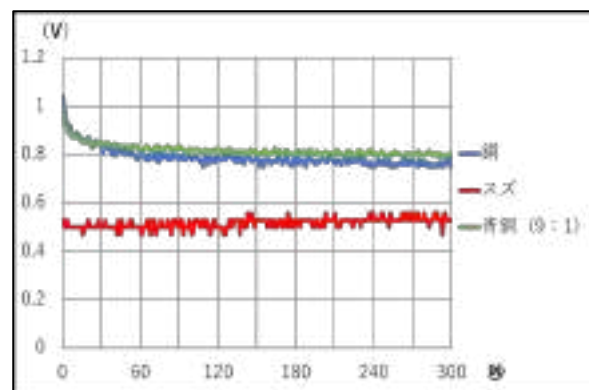


Fig.11 Results about alloy

青銅に含まれる金属の内イオン化傾向の高いスズのみが反応したことでスズと同じ電圧になったと考えられる。しかし、銅の含有量が多いと銅に近い電圧になると考えられる。

まとめ

銅と亜鉛を使用する通常のボルタ電池では、極板の面積、表面の酸化の状態によって電圧の大きさや低下速度が変わり、特に、ボルタ電池の起電力 1.1V という値は銅表面の酸化によってもたらされる値であることが示唆された。

合金については、青銅には希硫酸に反応しない銅が含まれているため、希硫酸と反応する種類の異なる金属を使用した合金を用いた場合の実験が必要である。

4 参考文献

数研出版, 改訂版化学

坪村宏. 1998. ボルタ電池はもうやめよう—問題の多い電気化学分野の記述. 「化学と教育」46 巻 10 号. 公益社団法人日本化学会.

藤田繁治. 2003. 電子レンジを用いて二元合金をつくる実験の教材化. 愛媛県総合科学博物館研究報告. No8. 1-5.

木材の種類によるサルノコシカケの生育の違い

伊藤 遼耶 鈴木 悠太 森谷 康平 山崎 浩輔

What does raise Sarunokoshikake

Ryoya ITO, Yuta SUZUKI, Kohei MORIYA, Kosuke YAMAZAKI

Abstract

There are fungi which make wood rotten, called Hukyukin. Some of them also decompose living trees.

In Japan, there are many old trees along streets, so if the fungi parasite on trees, they may cause tree falling accidents. However, there is still no perfect way to prevent it, so the purpose of this research is to detect how to prevent it. The first experiment was to put masses of the fungi simply on some kinds of woods. This experiment was failed. The second experiment was to concentrate only to cultivate the Kiyosumikasisarunokosikake. The fungus was sealed in petri dishes and cultivated on culture medium. In this experiment, most culture medium was contaminated by other fungi.

1 はじめに

日本では、昔から建築材や家具などに木材が使用され、木造建築が多く見られる。また、景観維持や防災のため、高度経済成長期の前後に植えられた街路樹が多く存在している。これらの木々に対し、悪影響を及ぼす菌が存在する。その一つが腐朽菌である。

腐朽菌は、木に付着・侵入してその内部組織を分解し、その産物を栄養源として生きる菌の種類だ。シイタケやマイタケなど、食用にされるものもこれに分類される。

腐朽菌のなかには切り株や倒木に生育するものも多いが、一部の種類は生きた木にも寄生してその組織を分解し、脆くしてしまう。その結果、腐朽菌に寄生された木は強風などによって折れやすくなる。現在、日本には街路樹として多くの老木が存在するが、若い木に比べ老木は腐朽菌に寄生されやすいため、日本全国で腐朽菌による街路樹の倒木被害が懸念されている。

現在、このような腐朽菌の付着を完全に防ぐ方法は確立されていない。

そこで、良い解決策はないか調べるため、まず

これら腐朽菌の性質を調べることにした。本研究においては腐朽菌の中でも特にサルノコシカケについて着目し、これがどのような種類の木をどれだけ腐食させるかを研究の対象とする。



Fig.1 Fomitella latissima

2 実験 1

最初に行ったのは木片とサルノコシカケ片同士の静置実験である。

サルノコシカケの木材に対する付着を観察するため、湿度を保ったビーカー内でサルノコシカ

ケと4種類の木材を接触させて2週間程観察を行った。

使用したサルノコシカケは *Fomitella fraxinea* である。

木材は日本においてよく利用されるスギ(針葉樹), クリ(広葉樹), アカマツ(針葉樹)を使用し, 違いを見ることにした。

静置した環境としては20~30℃の室温, 湿らせたスポンジと定期的な霧吹きにより高湿度を保った。



Fig.2 Experiment1

3 結果・考察1

Fomitella fraxinea の木材への付着は見られず, 増殖せずに黒ずんでしまい, また木材による違いも確認することができなかった。

このことから, ただ菌と木材を隣接させておくだけでは自然界における腐朽菌の付着の再現はできないということが判明した。

そこで, 次の実験では菌を増殖させることに重点を置き, 無菌条件下での培養を行うこととした。

その上で菌の培養環境下へ木材を置き, その動向を観察する。

4 実験2

実験2では完全無菌条件下での平板培養法を行った。

なお, この実験で使用したサルノコシカケは *Fomitella latissima* である。

参考文献『目で見える菌類の採集と観察』より培地として麦芽, ソイトーン, 酵母エキス, 蒸留水, 寒天を混ぜたものを加熱消毒し, シャーレ内で固

めたものを使用した。

培養基の内容及び内容量は 麦芽 3.5g ソイトーン 0.5g 酵母エキス 0.25g 寒天 7.5g 蒸留水 500ml

この実験は純粋にサルノコシカケのみを培養することを目的とするため, 培養させたサルノコシカケからまた培養を行う動作を複数回行った。

5 結果・考察2

1回目の培養は36℃恒温機と常温(約10℃)で行った。

培養を行った培地のうち複数にサルノコシカケ片以外から広がったコロニーが見られ, 他の菌が混入してしまった。

また, 36℃恒温機では培地が干からびてしまったためこの温度は不適と判断し, 2回目以降の培養はすべて常温で行っている。



Fig.3 Experiment2-1



Fig.4 Experiment2-2

2回目は約20℃の常温下で培養を行った。これもでも他の菌の混入が見られた。

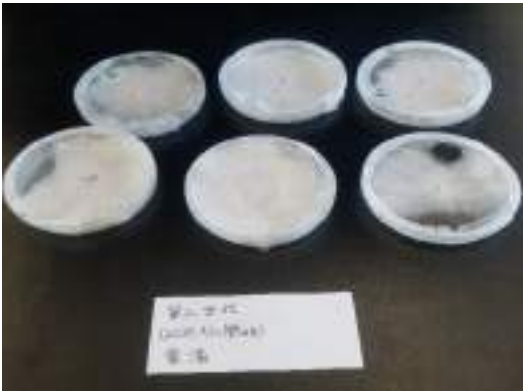


Fig.5 Experime2-3

3回目は約 25℃の常温下で行った。

4回目は約 30℃の常温下で行った。

いずれも菌の混入が見られ、完全にサルノコシカケのみを培養させる結果には至らなかった。

これらの実験では滅菌が不十分であったことや培養の手順が不適切であったことに原因があり、菌の混入につながってしまったものと考えられる。

また、それだけでなく、季節の変化による温度上昇によって他の種類の菌の動きが活発になったことも原因の1つではないかと考えられる。

6 展望

今回の反省や考察を活かした完全なサルノコシカケの純粋な培養を行い、実験1より多くの種類の木材を使用しその腐朽度合いを調べる。腐朽度合いの調べ方について、体積や質量など、さまざまな視点から観察を行う。

7 参考文献

- 鈴木彰 『きのこの一生』 堀越孝雄
 三浦宏一郎 『目で見える菌類の採集と観察』
 今関六也 本郷次雄『原色日本新菌類図鑑』 1 & 2

田んぼの土を用いた発電菌の研究

佐々木 瞭 塩田 陽登 寺田 大 横川 駿一郎

Power-generating bacteria in rice field soil

Ryo SASAKI, Haruto SHIODA, Hiro TERADA, Shunichiro YOKOKAWA

Abstract

Some bacteria living in rice field soil can release electron and generate electricity. The generation system with those bacteria is expected to be a new clean energy source. However, it hasn't been implemented because of low power generation efficiency. In this experiment, we explored the effective condition to generate much more electricity. The condition of the size of electrodes, the amount of water and soil, temperature, nutrition was changed and compared. As a result, the device maintained 25°C and added organic fertilizer generated more.

1 はじめに

水田の土の中には発電菌が生息している。この菌は、有機物を二酸化炭素と水素イオン、電子に分解してエネルギーを得る際に、電子を体外へ放出するため、電子を負極から正極に移動させ電池として利用できる。

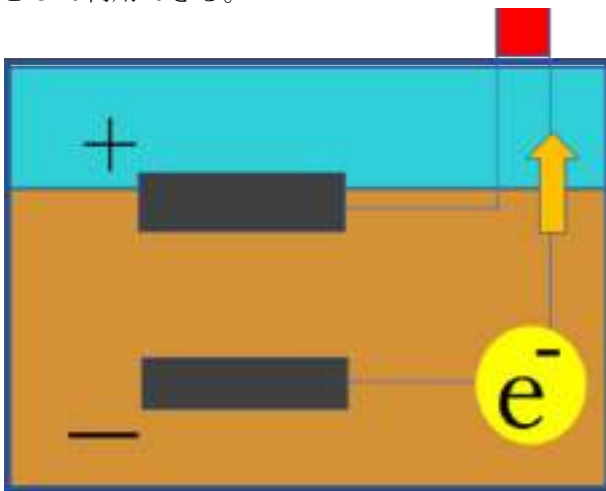


Fig.1 Diagram of the device

発電菌の研究は進んでいるものの、発電量の低さやコストの高さから実用化はされていない。

本研究では、水田の土を用いて発電装置を作成し、条件を変えながら発電量の変化を調べ、より発電量の多い条件を探ることを目的とする。

2 実験 1

(1) 目的・方法

電極の表面積、水量、土量の変化による電流量の変化を調べた。また、ビーカー内に土と水を入れ、電極として竹炭に導線を巻き付けたものを極板として用いて実験装置を作る (Fig.2, 3)。電極、導線を通して負極から正極に電子が移動する。

A : 水量 200 ml, 土量 200 ml

B : 電極の表面積 → A の 1/2

C : 電極の表面積 → A の 1/4

D : 水量 100 ml

E : 土量 100 ml

*周囲の温度は室温 (20°C~27°C) とする。

(2) 使用したもの

500 mlビーカー、蒸留水、田んぼの土、食品包装用ラップフィルム、輪ゴム、竹炭、#20 鉄線 (0.9 mm)、オールインワンデジタルマルチメータ (MT-7263)



Fig.2 Type of device(A~E)



Fig.3 Simple model of the device

(3) 結果

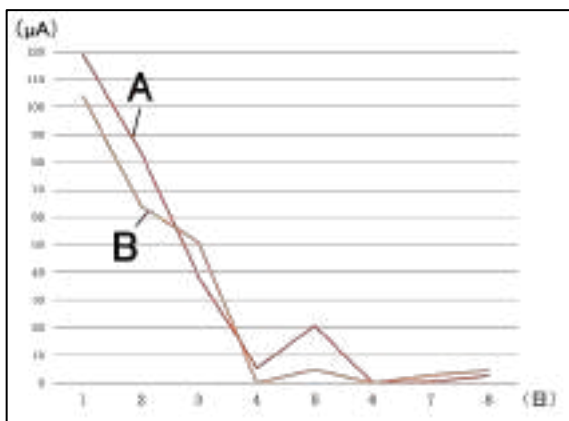


Fig.4 Results of A and B

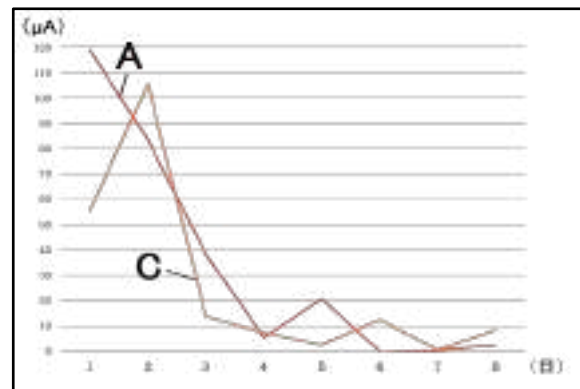


Fig.5 Results of A and C

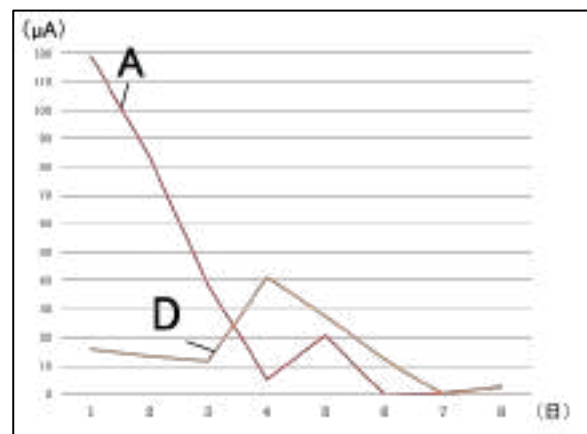


Fig.6 Results of A and D

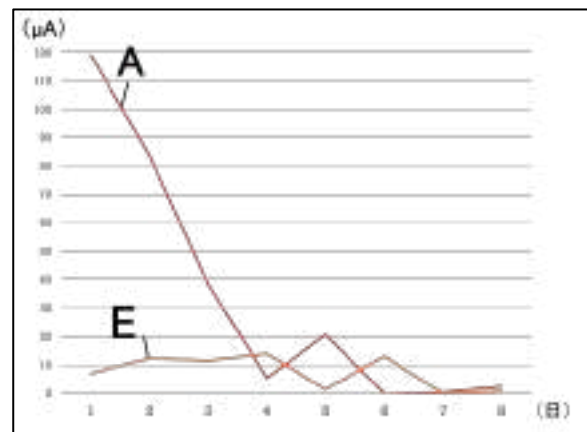


Fig.7 Results of A and E

実験 1 では電圧を測定しておらず，発電量が不明のため，発電量を比較できなかった。

3 実験 2

(1) 目的・方法

①実験 1 で，発生する電流量が日を迫うごとに低下していった原因として，導線が錆びやすい鉄であったことがあげられた (Fig.8)。そこで，

錆びにくい#14銅線(2mm)を使用した、同様に錆びが生じた(Fig.9)。このことから、この実験ではステンレス製の導線を用いた。

②電極の表面積が大きい方に多少大きな電流が流れたことから、表面積を増やすために竹炭を細かく砕いてアク取りに貼り付ける手法を取った。

③電流(Fig.12, 15)、電圧(Fig.13, 16)を測定し、発電量の値を計算した。

計算式： $P[W]=I[A] \times V[V]$

④温度変化と肥料の種類の違いによる発電量の増加を目指す。

A：温度 25℃，無機肥料入り

B：温度 25℃，肥料なし

C：温度 7℃，肥料なし

D：温度 25℃，糖蜜入り

E：温度 25℃，肥料なし

*無機肥料…窒素 3%，リン酸 6%，カリウム 5%

*A～CとD, Eは装置作成のタイミングと測定日数が異なるため、B, Eをそれぞれの実験の比較基準としている。

(2) 使用したもの

650mlツイストケース, 蒸留水, 田んぼの底土, 食品包装用ラップフィルム, 輪ゴム, 竹炭, ステンレスミニアク取り(Φ10cm), オールインワンデジタルマルチメータ(MT-7263), インキュベーター(25℃)



Fig.8 Iron rust

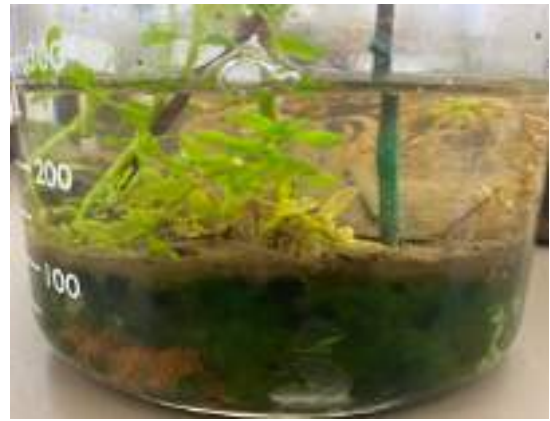


Fig.9 Copper rust



Fig.10 Type of device(A~E)



Fig.11 Device

(3) 結果

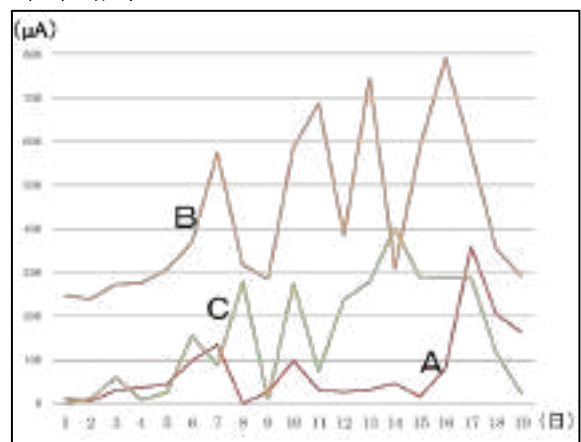


Fig.12 Results of currents A, B, C

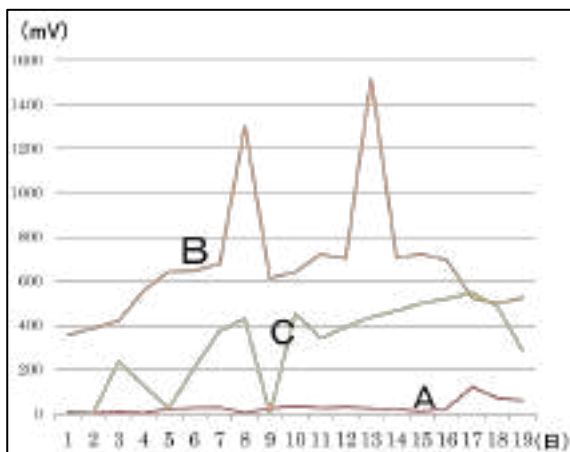


Fig.13 Results of voltages A, B, C

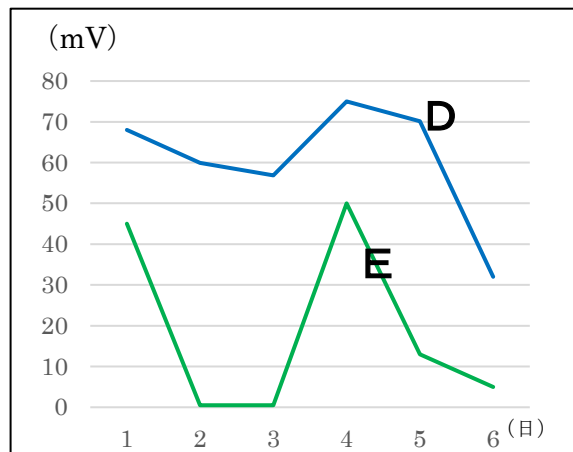


Fig.16 Results of voltages D and E

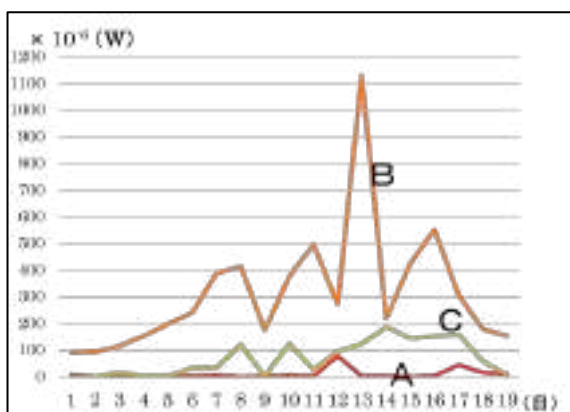


Fig.14 Results of electric power generation
A, B, C

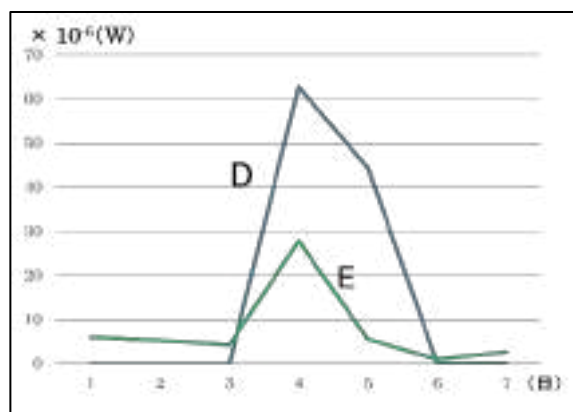


Fig.17 Results of electric power generation D, E

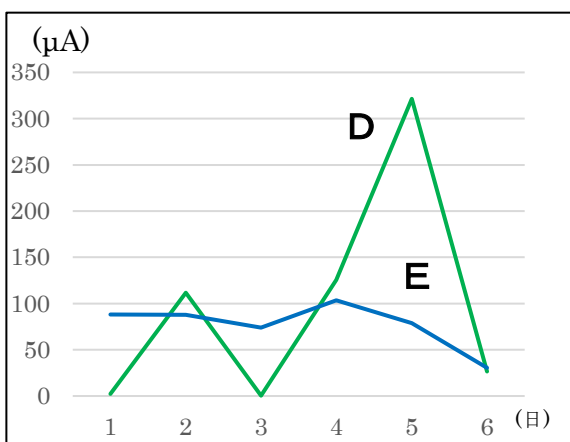


Fig.15 Results of currents D and E

4 考察

(1) 温度による発電量変化について

7°Cに保った場合、25°Cに保った場合と比べ発電量が大幅に減少したことから、低温であると発電菌には活動しにくいと考えられる。

また、発電量が日を迫うごとに回復していったことから発電菌は温度変化に適応できると考えられる。

(2) 無機肥料による発電量変化について

無機肥料を加えた場合、発電量は減少したことから、無機肥料を加えたことで発電菌以外の菌が活性化した、もしくは発電菌の活動が抑えられたと考えられる。

(3) 糖蜜による発電量変化について

糖蜜を加えた場合、発電量は大幅に増加した。無機肥料を加えた場合には減少していることから、有機肥料が発電量を増やす一因となっていると考えられる。

また、この発電量増加は糖蜜の熱量が電気エネルギーに変換されることが要因と考えられるので、同装置内で発電前後の糖蜜の熱量を測り、電気エネルギーへの変換効率を調べたい。

(4) 実験装置の改善点

実験2でA, B, Cに比べD, Eにおいて極端に発電量が低いのは、測定した日数が少ないためであると考えられる。さらに測定日数を増やせばより高い値が期待できると考えられる。

錆は導線の抵抗値を変化させてしまうことから、実験装置の正しい発電量の測定が行えていないと考えられる。よって、実験装置の導線を錆びにくく、電気抵抗の小さい金や、白金が適しているのではないかと考えられる。

5 謝辞

水田の土は茨城県筑西市の浜野様に、糖蜜は茨城県常陸大宮市のつづく農園様にご協力いただきました。

6 参考文献

中西貴之. 2007. 人を助けるへんな細菌すごい細菌：ココまで進んだ細菌利用 技術評論社
半永久的に持続する電源!?細菌が起こす発電イノベーション(2018/2/7)(<https://emira-t.jp/ace/4748/>)
微生物を使った発電方法はどういった発電? (2015/11/21)(<https://loop.club/editorials/detail/96>)
微生物が燃料を作る微生物燃料電池! (2018/10/12)(<https://www.mirai-kougaku.jp/laboratory/pages/181012.php>)

テナガエビの交替性転向反応

箕輪 航成 古田土 康成 瀬谷 航

Alternative turning reaction of *Macrobrachium nipponense*

Kousei MINOWA, Yasunari KODATO, Wataru SEYA

Abstract

Invertebrate shows the alternative turning reaction. The Alternative turning reaction is a turn in a direction different from the direction of the previous turn at a T-junction in a maze. It has mainly been experimented with pill bugs. However, there are few experiments with aquatic life, so we experimented that aquatic life show the Alternative turning reaction with (*Macrobrachium nipponense*). The maze with a width 3.5cm sunk in the water tank. *Macrobrachium nipponense* were put in the maze and tested to see the Alternative turning reaction. The result was that most of (*Macrobrachium nipponense*) showed the Alternative turning reaction. We also experimented phototaxis of (*Macrobrachium nipponense*). *Macrobrachium nipponense* were exposed to white light, infrared rays and ultraviolet light. *Macrobrachium nipponense* only avoided violet light and did not do anything at white light and infrared rays.

1 はじめに

無脊椎動物に多く見られる行動傾向の一つに交替性転向反応がある。これは、連続する分岐がある迷路内で、無脊椎動物がある分岐で曲がると、次の分岐では前の分岐で曲がった方向とは逆の方向に高確率で曲がることである。ダンゴムシは交替性転向反応をよく示す生物として広く研究が行われている。しかし、交替性転向反応は無脊椎動物全般で見られるのにもかかわらず、ダンゴムシ以外での研究が活発に行われていなかった。緑岡高校の先行研究でもオカダンゴムシ (*Armadillidium vulgare*) やハマダンゴムシ (*Tylos granulatus*) で研究が行われていた。そこで、他の無脊椎動物の中でも水生生物が交替性転向反応を示すか実験したいと思い、本研究ではダンゴムシと同じ甲殻類のテナガエビ (*Macrobrachium nipponense*) を用いた。

- ・霞ヶ浦で笹浸しで採取された
- ・発達した第二歩脚を持つ
- ・夜行性
- ・体長は第二歩脚を含め約 6～8 cm

飼育環境

プラスチック製の飼育ゲージに小石を敷き詰めた。オオカナダモを入れ、飼育した。餌に株式会社イトスイの「ヌマエビの主食」を与えた。



Fig.1 *Macrobrachium nipponense*

2 本研究の被検体について

テナガエビ(Fig.1)

- ・甲殻類十脚目

3 実験 1

本実験では、テナガエビ（以下“エビ”とする）が交替性転向反応を示すかを調べた。

水槽内に塩化ビニール板（タキロンプレート 2 mm厚）で作成した高さ、道幅がともに 3.5 cm の T 字型の迷路を 7 個連結させながら沈めた。（Fig.2）



Fig.2 Maze of experiment

沈めた迷路内の開始地点からエビを進入させ、通過したルートを観察し点数化した。点数化は（Fig.3）を参照する。実験は合計 157 回行った。この実験は、第一回が 2019 年 11 月～12 月、第二回が 2020 年 7 月の二回に分けて行われ、時期やエビの個体がそれぞれの実験において異なるので、実験が常に一定の環境下で行ってはいない。

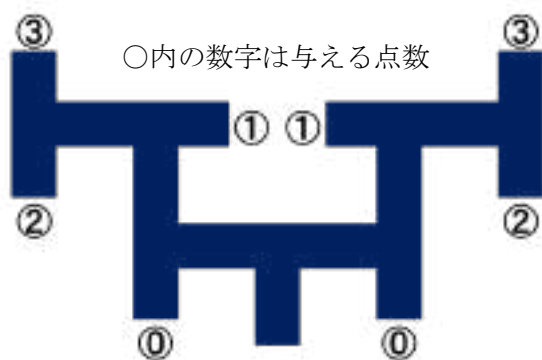


Fig.3 Placement of T-maze in tank

4 結果 1

分岐点である方向に曲がる確率を 2 分の 1 と仮定すると、期待値は 0.88 点、完全成功率は 12.5%となる。結果は、平均点 1.71 点で完全成功率は 47%だった。仮定と比べるとどちらも上

回っていることから、エビは交替性転向反応を示していると言える。なお、実験時に停止した 32 回は点数化しておらず、計算に含まれていない。また、この実験中以下のようなデータが得られた。

- ・抱卵している個体は動きが鈍く、行動しない個体が多くみられる。
- ・実験水槽とエビの飼育槽の水温に 2～3℃以上差があると、動きが鈍くなり行動しなくなる個体が多くなる。

5 実験 2

実験 1 は、昼白色蛍光灯がある環境下で行った。エビは夜行性であることから、白色光がエビの行動に影響を及ぼすと考えられる。従って、本実験では、光がエビの行動に影響を及ぼすかどうかを調べた。

トレイ（縦 29.8 cm、横 21.0 cm、深さ 4.00 cm）にエビが十分に動けるよう水を張り中にエビを 3 匹入れる。エビを暗室に 10 分間放置した後に、白色光、紫外線、赤外線（Tab.1）（Fig. 4）をエビに対し照射し、エビの行動を観察した。

Table.1 Properties of lights at experiment

	白色光	赤外線	紫外線
照度(lx)	27,300	—	—
紫外線量 (mW/cm ²)	0.10	—	4.01
波長(nm)	—	850	395



White light source



Infrared rays' source



Ultraviolet light source

Fig.4
Properties of lights
at experiment

6 結果 2

照射した光による影響

白色光…エビの行動に変化は見られなかった。
赤外線…白色光と同様にエビの行動に変化は見られなかった。

紫外線…紫外線照射部分から逃げるよう行動した。また、紫外線がエビに向けて照射されていなくても、エビはその部分に近づくことはなかった。

今回の実験ではエビが紫外線を受容することが可能で、負の光走性を持つことが分かった。また、可視光や赤外線がエビの行動に影響を与えているとは考えにくい。そのため、実験1での環境でエビの行動に光がデータの有意さを損なうような影響を与えていない。しかし、紫外線はエビの行動に影響を与え実験1のデータに誤差を生じさせる可能性があることが分かったが、実験1で使用した蛍光灯の紫外線量や、実験水槽と蛍光灯の距離が離れていることから、実験1のデータに蛍光灯が影響を与えていないと考えた。

7 今後の展望

今回行った二つの実験から、テナガエビは交替性転向反応を示す傾向にあることがわかった。本研究は交替性転向反応が一般の無脊椎動物で多く見られるという予想を正しいとする一例となる。しかし、まだ多くの無脊椎動物で実験が行われているわけではないため、今後、より多くの生物で実験を行っていきたい。また、触覚の有無が交替性転向反応に影響を与えるか否か、光量をさらに変化させることで変化が見られるか、交替性転向反応が起きない要因などを研究していきたい。

8 謝辞

霞ヶ浦漁業協同組合様と陽霞水産の山崎様に協力していただきました。この場を借りて厚く御礼を申し上げます。

9 参考文献

平成 26 年度 課題研究論文集

平成 27 年度 SS 課題研究論文集

平成 28 年度 SS 課題研究論文集

平成 30 年度 SS 課題研究論文集

番匠おさかな館の図鑑－大分県のいきもの－

2020/1/16

<http://michinoeki->

[yayoi.com/osakanakan/zukan/shrimpcrub/ebi%20tenagaebi01.htm](http://michinoeki-yayoi.com/osakanakan/zukan/shrimpcrub/ebi%20tenagaebi01.htm)

Unity と力積を用いたひみつ道具の検証

青木 悠耶, 白井 大輔, 杉浦 貴志, 寺門 大樹

Verification of secret tools using impulse and Unity

Haruya AOKI, Daisuke SHIRAI, Takashi SUGIURA, and Taiki TERAOKA

Abstract

"Doraemon" is one of the most famous Japanese anime. In this story, Doraemon uses secret tools to help the main characters. We were interested in them. In this study, we decided to carry out simulation of the impulse of the powerful fan which is called secret tools in the anime by using Unity. It is the game engine to make various games. The simulation apparently looks simple. However, it is very difficult because we have to create a program taking various elements into account. As a result, it was found that the wind speed of the fan in the anime is about 600m/s and the impulse is $218,160 \text{ N} \cdot \text{s}$.

1 はじめに

『ドラえもん』や『名探偵コナン』など有名なアニメのワンシーンをプログラミングで再現し、物理的に検証している動画を見る機会があった。プログラミングの方法を調べたところ、Unity というゲームエンジンを用いて物理演算を行っていることが分かった。そこで、『ドラえもん』のひみつ道具が現実に存在したら、物理的にどのような力になるのか、Unity を用いてシミュレーションし、力積の計算も合わせて行い、検証しようと考えた。

2 研究の方法

ひみつ道具の1つに「強力うちわ風神」というものがある。このひみつ道具は映画『ドラえもん のび太のドラビアンナイト』(1991 年公開)に登場し、軽くあおいただけで人を吹き飛ばすほどの烈風を吹かせることができるうちわである。アニメでは、船の甲板にいる登場人物達がうちわによって起こした強風を帆に当てて船を前進させようと試みている。しかし、風が強すぎるあまり船が急発進し、現実離れした速さで進み、甲板にいた人達が船から海上に飛ばされそうになっている。このシーンで吹いている風

に関心をもったため、検証の対象とする。

映像を見るかぎり、うちわは帆に向けて強い風を起こしているが、うちわの使用者はその風の反作用を受けていないように見えた。

そのため、「強力うちわ風神」の起こす風は使用者に対し影響を与えないものとして検証する。

また、アニメで船は海上にあるが、海水の摩擦まで考えたシミュレーションは難しいため、今回の検証ではその点は考慮しない。

Unity の検証で推定した風速を力積の式に代入し、「強力うちわ風神」の起こす風が人に与える力を計算する。実験Ⅱに Unity を用いて風を起こす。風速を段階的に変えて風を起こしたときの物体の動きを観察し、実際のアニメのシーンに近い風速を推定する。

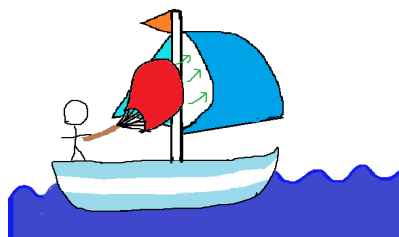


Fig.1 Doraemon anime scene image.

3 力積

有効数字3桁で計算する。まずは力積の式を導く。質量 m (kg) の空気が、地面と平行に表面積 s (m²) の物体に当たり、その後速度を失う。この風は v (m/s) の速さで吹き、1秒間に v (m) 進んでいる。(Fig.2)

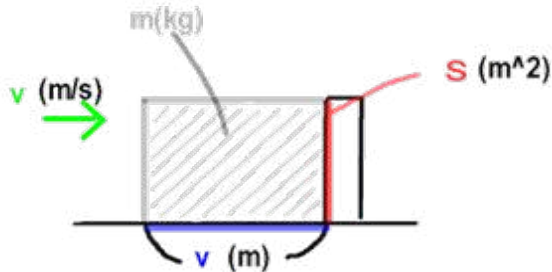


Fig.2 The power that the wind give to object.

空気の密度を ρ (kg/m³) とすると、

$$m \text{ (kg)} = sv \rho \text{ (kg)} \cdots \textcircled{1}$$

ここで、力積と運動力の関係式より、

$$F \Delta t = mv' - mv$$

衝突後速度を失うため $v' = 0$ (m/s), 1.00 秒間の变化なので $\Delta t = 1.00$ (s) を代入すると、

$$F \times 1 = -mv$$

この式の m に①を代入すると、

$$F = -\rho sv^2 \text{ (kg} \times \text{m/s)}^2$$

F の大きさについて考え、一符号を外し、

$$F = \rho sv^2 \text{ (kg} \times \text{m/s)}^2 \cdots \textcircled{1}'$$

という力積の式を導くことができる。

v は Unity で値を変化させるため、変数のままとし、 s と ρ を求める。

気体の状態方程式は、

$$p = \rho RaT \cdots \textcircled{2}$$

(p : 圧力, Ra : 空気に対する気体定数, T : 絶対温度)

である。ただし、ここでの Ra は、

$$Ra = Ru/m'$$

(Ru : 理想気体の気体定数, m' : 空気の平均分子量)

とする。②を変形すると、

$$\rho = p/RaT$$

Ra を置き換えると、

$$\rho = pm'/RuT \cdots \textcircled{3}$$

③の空気の平均質量 m' を求める。空気が窒素:酸素を 4:1 の割合で含んでいるとすると、

$$N_2 : O_2 = 4 : 1$$

よって、 m' は、

$$\begin{aligned} m' &= 28.0 \times 0.8 + 32.0 \times 0.2 \\ &= 28.8 \text{ (g)} \\ &= 28.8 \times 10^{-3} \text{ (kg)} \end{aligned}$$

と求められる。

アニメのシーンは、イラクのバグダッド付近が舞台となっている。バグダッドの年平均気温はおおよそ 40.0 °C であるので、 $T = 40.0 + 273 = 313$ (K), 圧力 p は 1000 hPa を Pa 単位にし、 1.00×10^5 (Pa) を、また、 Ru には理想気体定数 8.31 を代入する。③に、 $Ru = 8.31$, $T = 313$ (K), $p = 1.00 \times 10^5$ (Pa) を代入すると、

$$\begin{aligned} \rho &= 1.00 \times 10^5 \times 28.8 \times 10^{-3} / (8.31 \times 313) \\ &= 1.1072 \cdots \text{ (kg/m}^3\text{)} \end{aligned}$$

一般に空気密度は 1.29 という値が使われている。

この値は $T = 273$ K (0°C) の環境を想定して算出されているため、値の差が生じていると考えられる。

表面積 s (m²) を計算する。5 cm × 5 cm の方眼紙に人の型を取り、正方形が完全にとれるところと不完全な部分の数を数えて、表面積を求めた。不完全な部分は正方形の半分の面積と考え、もう 1 つの不完全な部分と組み合わせて正方形になると考えた。1 つの正方形の面積は、 $0.05 \times 0.05 = 0.00250$ (m²) である。

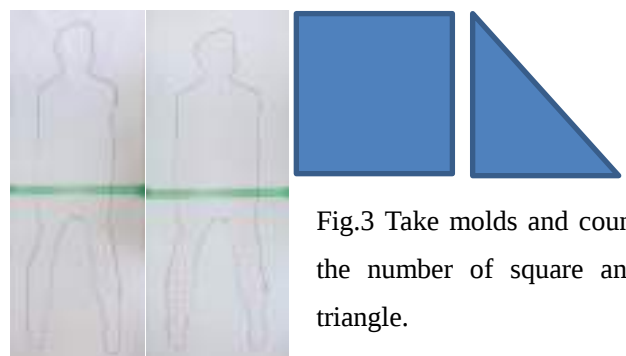


Fig.3 Take molds and count the number of square and triangle.

完全な正方形は 172 個、不完全な部分は 94 個あった。よって、表面積 s は、

$$s = (172 + 94 \times 1/2) \times 0.00250$$

$$= 0.5475 \text{ (m}^2\text{)}$$

これを①'の式に代入する。

$$F = \rho s v^2$$

$$= 1.107 \times 0.5475 \times v^2$$

$$= 0.6060 \dots$$

$$\div 0.606 \text{ (kg} \times \text{m/s)}$$

よって、力積は $0.606 v^2 \text{ (kg} \times \text{m/s)}$ となった。

4 Unityによる風速の計測

Unity について専門書やインターネットで学習したが、プログラミングに使用する C 言語を使いこなすのが難しく、自分達だけではスクリプトの制作が困難だった。そこで、筑波大学大学院／システム情報工学研究科／知能機能システム専攻／視覚メディア研究室のガリマガイ様にご協力いただき、スクリプトを作成し風を人に当てるシミュレーションを行った。スクリプトは最後に記載する。



Fig.4 Unity simulation scene.

風の速さと方向を自由に変更できるスクリプトを作成し、アニメのシーンに近い風速を推定した。風は人に正面から当てるように吹かせ、風の吹く角度は地面から 30° とした。風は段階的に吹かせたが、風速 100 m/s, 200 m/s, 600 m/s, 1400 m/s の 4 種の動画の静止画を掲載する。

<風速 100 m/s>



Fig.5 object movement by wind speed 100 m/s.

人が後方に倒れるだけで、風で人が吹き飛ばされるような運動は見られなかった。

<風速 200 m/s>

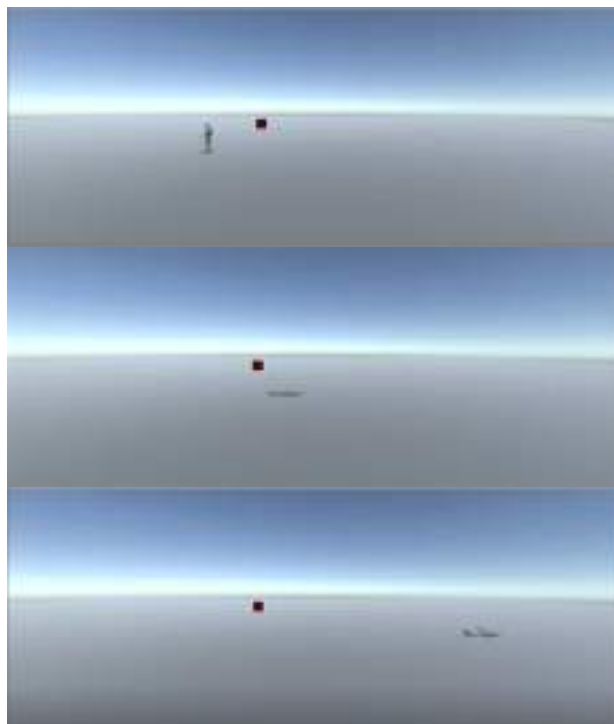


Fig.6 object movement by wind speed 200 m/s. 100 m/s の時と同様に、人が後方に倒れ、その後約 14 m 進んだ。

<風速 600 m/s>

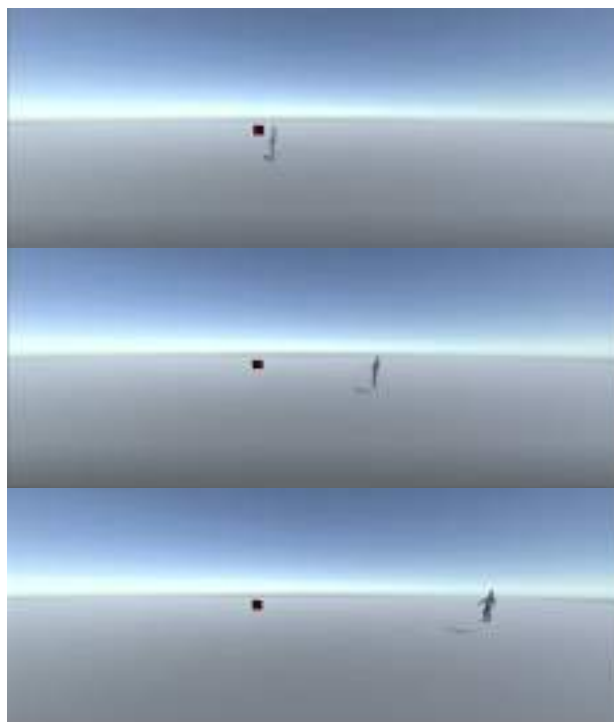


Fig.7 object movement by wind speed 600 m/s.

人の足が地面から離れ、人型のオブジェクトが飛んだ。この風速の 때가一番アニメのシーンに近かった。よって、アニメのシーンの風速は 600 m/s と推定した。

<風速 1400 m/s>

あえてこの極端な風速の場合を掲載したのは、風速による人型のオブジェクトの運動の変化を他の風速の場合と比較するためである。

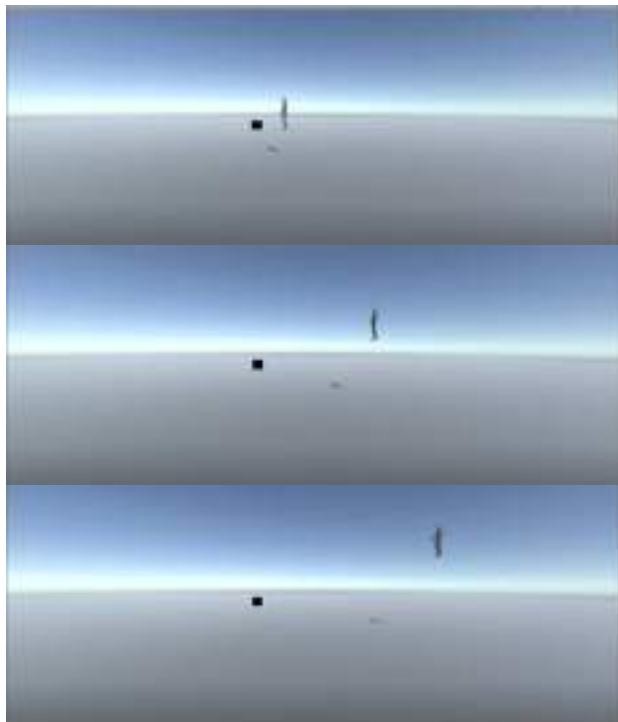


Fig.8 object movement by wind speed 1400m/s.

600 m/s の時よりも人が長距離にわたって吹き飛ばされ、これまでと比べ物にならない運動が見られた。

5 研究の結果

Unity によって推定した風速 $v = 600 \text{ m/s}$ を、すでに導出した力積の式

$$F = 0.606 v^2 \text{ (kg} \times \text{m/s)}$$

に代入すると、

$$\begin{aligned} F &= 0.606 \times 600^2 \\ &= 218,160 \text{ (N} \times \text{s)} \end{aligned}$$

となった。よって、ドラえもののひみつ道具「強力うちわ風神」は風を受けた人に対して $218,160 \text{ N} \times \text{s}$ の力を与えることが分かった。

6 謝辞

本研究を行うにあたり、筑波大学大学院／システム情報工学研究科／知能機能システム専攻／視覚メディア研究室のガリマガイ様に Unity のスクリプトの制作など、多大なるご協力を賜りました。この場を借りて厚く御礼を申し上げます。

7 参考文献

「大気の質量と気圧」(増田耕一)

<https://macroscope.world.coocan.jp>

「ドラえもののひみつ道具を一つもらえたら」

<https://moshimodogu.com/>

「Unity で神になる本」(廣鉄夫: 著 OHM 社)

8 スクリプトの掲載

<Script1>人に用いたスクリプト

```
using System.Collections;
```

```
using System.Collections.Generic;
```

```
using UnityEngine;
```

```
public class Ball : MonoBehaviour {
```

```
    public float lifeTime = 10f;
```

```
    public bool inWindZone = false;
```

```
    public GameObject windZone;
```

```
    Rigidbody rb;
```

```
    private void Start()
```

```
    {
```

```
        rb = GetComponent<Rigidbody>();
```

```
    }
```

```
    // Update is called once per frame
```

```
    void Update()
```

```
    {
```

```
        if (lifeTime > 0)
```

```
        {
```

```

lifetime -= Time.deltaTime;
        if (lifeTime <= 0)
        {
            Destruction();
        }
    }
    if (transform.position.y <= -20)
    {
        Destruction();
    }
}

private void FixedUpdate()
{
    if (inWindZone)
    {
        rb.AddForce(windZone.GetComponent<WindArea>().direction *
windZone.GetComponent<WindArea>().strength);
    }
}

void OnTriggerEnter(Collider coll)
{
    if (coll.gameObject.tag == "windArea")
    {
        windZone = coll.gameObject;
        inWindZone = true;
    }
}

void OnTriggerExit(Collider coll)
{
    if (coll.gameObject.tag == "windArea")
    {
        inWindZone = false;
    }
}

void OnCollisionEnter(Collision coll)
{
    if (coll.gameObject.name ==

```

```

"destroyer")
    {
        Destruction();
    }
}

void Destruction()
{
    Destroy(this.gameObject);
}

<Script2>風を起こすためのスクリプト
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class WindArea : MonoBehaviour {

    public float strength;
    public Vector3 direction;

    private void Start()
    {
        //strength = ToSingle(5.0);
    }

    private void Update()
    {
        if
(Input.GetKeyDown(KeyCode.UpArrow))
        {
            strength = strength + 0.05f;
        }
        if
(Input.GetKeyDown(KeyCode.DownArrow))
        {
            strength = strength - 0.05f;
        }
    }
}

```

数当てゲームの必勝法

上田 遥希 川村 彩乃 清水 翔太 吉田 秀樹

The Optimal Solution of Number Guessing Game

Haruki UEDA, Ayano KAWAMURA, Shota SHIMIZU, and Hideki YOSHIDA

Abstract

“Hit & Blow” is a game that 2 players guess the opponent’s number which has 3-digit and don’t contain same numbers. The number of the numbers which can be the answer are 720. Those 720 numbers can be divided up into 9 groups by the values of “HIT” and “BLOW”. To find the answer quickly, we divide those numbers as many as possible. The number can be changed the numbers it contains, be changed the numbers’ position, and remain both of them, which make 8 combination. Authors examined those numbers’ response in the case of that the question is the numbers which were made in those ways. This is how to decide next question which can divide the number of the number which can be the answer as many as possible. As a result, the number which is used two different number from the number that he or she thought it the answer at first and that a number is in different position can realize that in second turn. Doing those after second turn, the number of the number which can be the answer is decreasing. Therefore, the player can find the answer.

1 はじめに

“Hit & Blow”や“マスターマインド”と呼ばれる数当てゲームは、質問に対する応答をヒントに相手が決めた番号を当てるというものである。本研究では、より少ない手数で相手の番号を当てる方法を調べた。

2 Hit & Blow のルール

2人の対戦者はお互い3桁の番号を決める。ただし、111や233といった数字の重複は認めない。そして、先攻と後攻に分かれ、相手の番号を推理して質問を行う。

質問に対する応答は、数字と桁が一致する場合「HIT」、数字が使われているが桁が異なる場合「BLOW」とする。

先に相手の番号を当てた者を勝ちとする。

・応答の例とその意味

Table.1 An Example of Response

相手の質問	自分の番号
152	123
応答：1HIT 1BLOW	

Table.1 より自分の番号が123で、相手から152と質問されたとき、1について桁と数字が一致しているので1HIT、5について異なる桁において数字が使われているので1BLOW、したがって相手に1HIT1BLOWと応答する。

Table.2 An Example of Response

自分の質問	相手の番号
345	123
応答：0HIT 1BLOW	

Table.2 より相手の番号が123で自分が345と質問したとき、応答は0HIT1BLOWとなる。このことから、相手の番号には桁が異なるものの、3、4、5いずれかが含まれているとわかる。

3 定義

研究を進めるにあたり、次の4項目を定義する。

I 応答の簡略化

応答を簡略化するため、これ以降では1 HIT 2 BLOWを「1-2」のように表記する。

II 同値な質問の排除

相手の番号を当てにいく際に、720通りの質問を行うのは効率的でない。そこで、区別がつかず、質問しても得られる情報が同じとなってしまう番号を同値な質問として行わないこととする。

同値な質問は次の2種類に分けられる。

①相手の番号に使われていない数字

Table.3 Questions and Responses

相手の番号：340	
質問	応答
341	2-0
342	2-0
345	2-0

Table.3より相手の番号が340であるとき、質問341、342、345はどれも同じ応答2-0を示し区別がつかない。よって、これら3つの質問は同値であるとする。また、同値な質問が複数ある場合は最小のものを質問として採用することとする。

②これまでの質問に出てこなかった数字

Table.4 The Examples of the Numbers of Which Has Same Responses

014	015	016
017	018	019

Table.4は2回の質問012、123に対し2-0、0-1の応答を示す番号の一部である。このとき質問の番号に出てきていない数字4～9に対しては答えに含まれているか判別できないため、これら6つの数字は同値であるとする。

III 集合論を用いた応答の分類

全ての番号の候補は、はじめ720個の要素を持つ1つの集合に属しているとする。また、集合に含まれる要素は、ある質問を当てたときの応答の種類によって分割される。集合の分割例としてTable.5、6、7、8を示す。

Table.5 The Numbers

046	375	862
459	481	904

6つの要素を持つ集合Table.5に対し質問012を当てた際、考える応答は0-0、1-0、0-1の3通りであるので、Table.6で示すように0-0を応答する要素の集合、1-0の集合、0-1の集合の3集合に分類できる。

Table.6 The Examples of How to Divide Numbers Group

応答：0-0	応答：1-0	応答：0-1
375	046	481
459	862	904

このように、6個の要素を持つ1つの集合が2個の要素を持つ集合3つに分かれることを、「質問に対する応答によって集合を分類する」と考えることとする。

4 最良質問の考察

I 最良となる質問の定義

同じ集合を2つに分割する質問と4つに分割する質問では次の手で相手の数字を当てることのできる確率が異なる。



Fig.1 Dividing up into 2 Number Groups

Fig.1 は 100 個の要素を持つ集合を 50 個ずつの集合に分割している。

この場合、次の手で相手の番号を当てる確率は、 $1/50$ である。

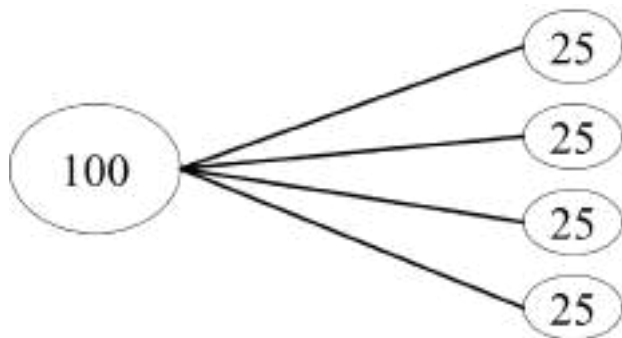


Fig. 2 Dividing up into 4 Number Groups

Fig.2 は 100 個の要素を持つ集合を 25 個ずつの集合に分割している。

この場合、次の手で相手の番号を当てる確率は $1/25$ である。

これらのことから、集合をより多く分割すると答えにたどり着きやすいことがわかる。

よって最良質問は集合をより多く分割する質問である。

Ⅱ 一手目について

一手目の質問は、すべての番号が未出であり同値とみなせるので、最小である 012 を質問する。このとき、720 個の要素は Table. 7 のように分割される。

Table.7 How to Divide the All Numbers

応答	要素数
3-0	1
2-0	21
1-2	3
1-1	42
1-0	126
0-3	2

0-2	63
0-1	252
0-0	210

今回の研究では、実践において最も遭遇しやすい、応答が 0-1 となる要素 252 個に着目する。

Ⅲ 二手目について

二手目以降の質問は直前の質問に操作を加えた番号を質問する。操作には以下の 3 つがある。

- ・数字を変える。
- ・数字の場所を変える。
- ・数字も場所も変えない。

これらを組み合わせると Table. 8 の 8 通りの番号が作成できる。

なお、簡略化のためこれ以降では

- ・数字を変える→数
- ・数字の場所を変える→場
- ・数字も場所も変えない→固

のように表記する。

Table.8 The Numbers which Were Changed from 012

数 3	345
数 2 場 1	340
数 1 場 2	301
数 1 固 2	013
数 2 固 1	034
場 3	201
場 2 固 1	102
数 1 場 1 固 1	023

これらの 8 通りの質問を先ほどの 252 個の要素に質問した結果が以下の表である。

Table.9 How Divide Number Groups by Questions
in Second Turn

①数 3(345)

応答	個数
2-0	6
1-1	12
1-0	42
0-2	18
0-1	96
0-0	72
合計	252

④数 1 固 2(013)

応答	個数
2-0	6
1-1	12
1-0	36
0-2	30
0-1	108
0-0	60
合計	252

②数 2 場所 1(340)

応答	個数
3-0	1
2-0	12
1-2	2
1-1	17
1-0	50
0-2	19
0-1	70
0-0	80
合計	252

⑤数 2 固 1(034)

応答	個数
1-2	2
1-1	14
1-0	36
0-3	2
0-2	30
0-1	108
0-0	60
合計	252

③数 1 場 2(301)

応答	個数
2-0	12
1-1	24
1-0	72
0-2	12
0-1	72
0-0	60
合計	252

⑥場 3(201)

応答	個数
0-1	168
0-0	72
合計	252

⑦場 2 固 1(102)

応答	個数
0-1	168
0-0	84
合計	252

⑧数1場1固1(031)

応答	個数
2-0	6
1-1	12
1-0	36
0-2	30
0-1	108
0-0	60
合計	252

この結果から、最も多く集合を分割した番号は340であるので、二手目の最良質問となるのは一手目の番号に数字を2つ変え、場所を1つ変えるといった操作をした番号であることがわかった。

IV 三手目について

二手目の最良質問を340とし、先ほどと同様に、8通りの操作を行って、8つの番号を作る。

Table. 10 はその番号である。

これらの番号を二手目の質問340によって分かれたそれぞれの集合の要素に質問した結果は次の通り。

Table.10 The Numbers which Were Changed from 340

数3	567
数2場1	536
数1場2	534
数1固2	345
数2固1	560
場3	034
場2固1	304
数1場1固1	354

Table.11 How Divide Number Groups by Questions in Third Turn

一手目の応答0-1→二手目の応答0-0

①数3 (567)

応答	個数
0-0	8
0-1	32
0-2	12
1-0	16
1-1	8
2-0	4
合計	80

②数2場1 (536)

応答	個数
0-0	24
0-1	36
0-2	4
1-0	18
1-1	2
2-0	2
合計	80

③数1場2 (534)

応答	個数
0-0	48
0-1	16
1-0	16
合計	80

④数1固2 (345)

応答	個数
0-0	48
0-1	24
1-0	8
合計	80

⑤数2固1 (560)

応答	個数
0-0	24
0-1	30
0-2	4
1-0	18
1-1	2
2-0	2
合計	80

⑥場3 (034)

応答	個数
0-0	80
合計	80

⑦場2固1 (304)

応答	個数
0-0	80
合計	80

⑧数1場1固1 (354)

応答	個数
0-0	48
0-1	24
1-0	8
合計	80

一手目の応答 0-1 → 二手目の応答 0-1

①数3 (5 6 7)

応答	個数
0-0	22
0-1	28
0-2	3
1-0	14
1-1	2
2-0	1
合計	70

②数2場1 (5 3 6)

応答	個数
0-0	24
0-1	22
0-2	1
1-0	16
1-1	4
2-0	3
合計	70

③数1場2 (5 3 4)

応答	個数
0-0	12
0-1	28
0-2	4
1-0	20
1-1	2
2-0	4
合計	70

④数1固2 (3 4 5)

応答	個数
0-0	48
0-1	24
1-0	8
合計	70

⑤数2固1 (5 6 0)

応答	個数
0-0	30
0-1	18
0-2	9
0-3	1
1-0	8
1-1	3
2-0	1
合計	70

⑥場3 (0 3 4)

応答	個数
0-1	20
1-0	50
合計	70

⑦場2固1 (3 0 4)

応答	個数
0-1	40
1-0	30
合計	70

⑧数1場1固1 (3 5 4)

応答	個数
0-0	12
0-1	40
0-2	6
1-0	8
1-1	4
合計	70

一手目の応答 0-1 → 二手目の応答 0-2

①数3 (5 6 7)

応答	個数
0-0	10
0-1	6
1-0	3
合計	19

②数2場1 (5 3 6)

応答	個数
0-0	6
0-1	7
0-2	1
1-0	4
1-1	1
合計	19

③数1場2 (5 3 4)

応答	個数
0-1	8
0-2	3
1-0	4
1-1	3
2-0	1
合計	19

④数1固2 (3 4 5)

応答	個数
0-1	12
0-2	6
1-1	1
合計	19

⑤数2固1 (5 6 0)

応答	個数
0-0	4
0-1	9
0-2	4
1-1	2
合計	19

⑥場3 (0 3 4)

応答	個数
0-2	12
1-1	7
合計	19

⑦場2固1 (3 0 4)

応答	個数
0-2	4
1-1	10
2-0	5
合計	19

⑧数1場1固1 (3 5 4)

応答	個数
0-1	8
0-2	6
1-0	4
1-1	1
合計	19

一手目の応答 0-1 → 二手目の応答 2-0

①数3 (567)

応答	合計
1-0	1
0-1	3
0-0	7
合計	11

②数2場1 (536)

応答	個数
0-2	2
0-1	6
0-0	3
合計	11

③数2場1 (534)

応答	個数
0-2	3
0-1	8
合計	11

④数1場2

応答	個数
2-0	2
1-1	1
1-0	8
合計	11

⑤数2場1 (560)

応答	個数
1-2	9
0-0	2
合計	11

⑥場3 (034)

応答	個数
0-2	11
合計	11

⑦場2場1 (304)

応答	個数
1-1	7
0-2	4
合計	11

⑧数1場1場1 (364)

応答	個数
2-0	1
1-1	3
1-0	4
0-1	4
合計	11

一手目の応答 0-1 → 二手目の応答 1-1

①数3 (567)

応答	個数
1-0	2
0-1	6
0-0	8
合計	16

②数2場1 (536)

応答	個数
1-1	2
1-0	3
0-2	1
0-1	7
0-0	3
合計	16

③数1場2 (534)

応答	個数
1-1	2
1-0	4
0-2	2
0-1	8
合計	16

④数1場2 (346)

応答	個数
2-0	1
1-1	2
1-0	4
0-2	1
0-1	8
合計	16

⑤数2場1 (560)

応答	個数
2-0	1
1-1	2
1-0	6
0-2	2
0-1	3
0-0	2
合計	16

⑥場3 (034)

応答	個数
1-1	6
0-2	10
合計	16

⑦場2場1 (304)

応答	個数
2-0	7
0-2	9
合計	16

⑧数1場1場1 (364)

応答	個数
2-0	2
1-1	2
1-0	4
0-1	8
合計	16

一手目の応答 0-1 → 二手目の応答 1-0

①数3(567)

応答	個数
0-0	14
0-1	20
0-2	2
1-0	12
1-1	3
2-0	1
合計	52

②数2場1(536)

応答	個数
0-0	12
0-1	23
0-2	7
1-0	6
1-1	3
2-0	1
合計	52

③数1場2(534)

応答	個数
0-0	12
0-1	28
0-2	4
1-0	4
1-1	3
2-0	1
合計	52

④数1場2(346)

応答	個数
0-0	12
0-1	8
0-2	1
1-0	24
1-1	5
2-0	2
合計	52

⑤数2場1(560)

応答	個数
0-0	16
0-1	10
1-0	10
1-1	6
1-2	1
2-0	8
3-0	1
合計	52

⑥場3(034)

応答	個数
0-1	50
0-2	1
1-1	1
合計	52

⑦場2場1(304)

応答	個数
0-1	30
0-2	2
1-0	20
合計	52

⑧数1場1場1(304)

応答	個数
0-0	12
0-1	12
0-2	4
1-0	20
1-1	2
2-0	2
合計	52

この結果から、最も多く集合を分割した番号は、二手目での応答が

- ・ 0-0 である場合、567, 536, 560
- ・ 0-1 である場合、560
- ・ 0-2 である場合、536, 534
- ・ 1-0 である場合、560
- ・ 1-1 である場合、560
- ・ 2-0 である場合、354

である。

V 集合の分割数が同じ場合の最良質問

二手目の応答が 0-1, 0-2 であるとき、集合を最も分割する番号は複数個ある。これらのうちどれが最も期待値の高い質問なのかを調べる。

それにあたり、とある集合の分割を示す。

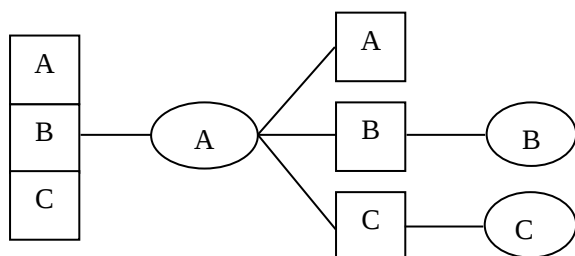


Fig.3 Groups Being Divided up into 3

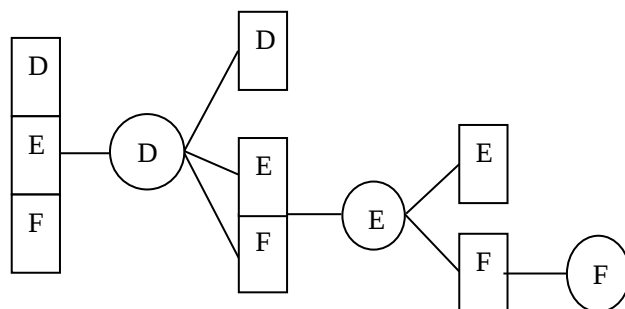


Fig.4 Groups Being Divided up into 3

2つの表における□と○はそれぞれ要素と質問を表す。

Fig.3 では 3 個の要素 A, B, C を持つ集合が質問 A によって独立した集合 3 つに分割されている。図より A が答えであった場合、かかる質問回数は 1 回、B や C が答えである場合 2 回なので質問数の期待値は 1.666... 回となる。

Fig.4 では、3 個の要素 D, E, F を持つ集合が質問 D によって要素を 1 個持つ集合と要素を 2 個持つ集合に分割されている。図より D が答えである場合の質問回数が 1 回、E の場合 2 回、F の場合 3 回となるので期待値は 2 回である。

これらの結果から、「集合内の要素をより均等に分ける質問をしたとき、質問数の期待値がより少なくなる」ことがわかった。これは要素の数を均等にする、つまり要素数の分散がより小さい集合が良い期待値となることを意味す

る。

この考察をⅣでの結果に用いると、2手目の応答が0-0である場合の最良質問が567、2手目の応答が0-2である場合の最良質問が534であることが分かった。

5 考察

3手目以降でも要素を多くの集合に分割できた質問をすることによって、答えの候補が徐々に減り最終的には1つに限定される。すなわち、相手の番号を見つけることができると予想する。

6 今後の展望

- ・検証を全て手作業で行ったため、大変時間がかかってしまった。そのため、今後はプログラミングを用いて効率良く検証を行いたい。
- ・安定性や期待値を重視しないリスク度外視の質問についての検証を行いたい。

7 参考文献

数当てゲーム MOO の最小質問戦略と最強戦略 - 田中哲郎 (1996)

<https://www.tanaka.ecc.u-tokyo.ac.jp/ktanaka/papers/gpw96.pdf>

Prolog と論理パズル

青山 ひなを 大嶺 輝 栗栖 葵

Logic puzzle with Prolog

Hinao AOYAMA, Hikaru OMINE, Aoi KURISU

Abstract

Logic puzzle is similar to difficult problems in our daily life - have complex laws - such as the creation of class schedules and work schedules. The truth table, the tableau method and Prolog are used in this study. The truth table is the mathematical table used in logic. The tableau method is a method of checking whether the reasoning is correct or not and whether the logical expression is consistent. Prolog is one of the programming languages which is suited to solve logic puzzles. Solving relatively simple problems such as “Lion and Unicorn” and number place show us how to infer.

1 はじめに

論理パズルはシフト表の作成などの日常生活の制約のある問題に似ている。本研究では、真理表、タブロー法、Prologを用いて、比較的簡単な論理パズルを解くことを目的とした。

2 研究方法

I 真理表とは

与えられた命題の真偽の組み合わせの全てのパターンとそれに対する結果の値を、表にしたものである。本研究では、真を1、偽を0と表す。以下、このように表す。

II タブロー法とは

推論の妥当性や論理式に矛盾がないかを確かめる方法の一つ。下の表を基に枝を分ける。ただし、上部は論理式を、下部は別れ方を表す。

Table.1

$\frac{\begin{matrix} \bigcirc \\ \neg \bigcirc \end{matrix}}{\times}$	$\frac{(\bigcirc \rightarrow \Delta)}{\neg \bigcirc \quad \Delta}$	$\frac{(\bigcirc \wedge \Delta)}{\begin{matrix} \bigcirc \\ \Delta \end{matrix}}$	$\frac{(\bigcirc \vee \Delta)}{\bigcirc \quad \Delta}$	$\frac{(\bigcirc \leftrightarrow \Delta)}{\begin{matrix} \bigcirc \quad \neg \bigcirc \\ \Delta \quad \neg \Delta \end{matrix}}$
$\frac{\neg \neg \bigcirc}{\bigcirc}$	$\frac{\neg(\bigcirc \rightarrow \Delta)}{\begin{matrix} \bigcirc \\ \neg \Delta \end{matrix}}$	$\frac{\neg(\bigcirc \wedge \Delta)}{\neg \bigcirc \quad \neg \Delta}$	$\frac{\neg(\bigcirc \vee \Delta)}{\neg \bigcirc \quad \neg \Delta}$	$\frac{\neg(\bigcirc \leftrightarrow \Delta)}{\neg \bigcirc \quad \bigcirc \quad \neg \Delta \quad \Delta}$

III Prolog とは

論理的な問題を解くのに適するプログラミング言語である。本研究では、事実・規則・質問の3種類の節で構成する。フリーソフトのSWI-Prologを用いる。

IV 研究内容

①下の問題を真理表、タブロー法、Prologを用いて解く。

次の会話で嘘を言っている人は誰か。

A:「BまたはCが嘘を言っている」

B:「Cは嘘を言っている」

C:「Bが本当のことを言っているなら、
Aも本当のことを言っている」

②「ライオンと一角獣」と世界一難しい数独をPrologを用いて解く。

「ライオンと一角獣」

ライオンは月、火、水曜日に嘘をつき、
一角獣は木、金、土曜日に嘘をつく。

ある日、ライオンと一角獣は次のように言った。この日は何曜日か。

ライオン「昨日は、俺が嘘をつく日だ」

一角獣「昨日は、俺も嘘をつく日だ」

世界一難しい数独

		5	3					
8							2	
	7			1		5		
4					5	3		
	1			7				6
		3	2				8	
	6		5					9
		4					3	
				9	7			

3 結果

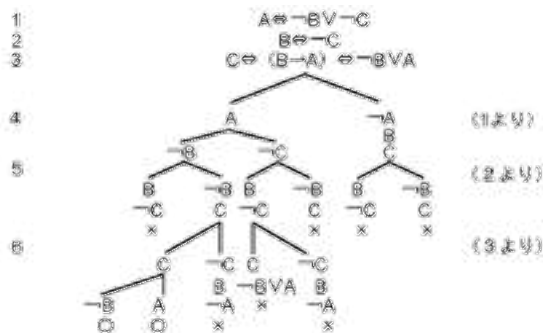
I 研究内容①の結果

① 真理表での解法

A	B	C	Aの発言 $\neg B \vee \neg C$	Bの発言 $\neg C$	Cの発言 $\neg B \vee A$
1	1	1	0	0	1
1	1	0	1	1	1
1	0	1	1	0	1
1	0	0	1	1	1
0	1	1	0	0	1
0	1	0	1	1	1
0	0	1	1	0	0
0	0	0	1	1	0

A, B, C の真偽と A, B, C の発言の真偽の組み合わせが一致するのは3段目のみより、嘘をついているのはBである。

② タブロー法での解法



妥当であることを示すのは、最後に○がついている枝より、嘘をついているのはBである。

③ Prolog での解法

```
?- use_module(library(clpb)).
true.
?-sat(((A=:(~B)+(~C)))*(B=:(~C))*
(C=:(~B+A))),labeling([A,B,C]).
A = C, C = 1, B = 0.
```

ブール変数の制約ライブラリーを導入し、A, B, C の発言をもとに立式した命題論理式を満たす、A, B, C の値割り当てが存在するかどうかを判断する述語を導入した。

よって、A = C, C = 1, B = 0 より、嘘をついているのはBである。

II 研究内容②の結果

① 「ライオンと一角獣」の解法

```
lion(0,1).
lion(1,0).
lion(2,0).
lion(3,0).
lion(4,1).
lion(5,1).
lion(6,1).
unicorn(0,1).
unicorn(1,1).
unicorn(2,1).
unicorn(3,1).
unicorn(4,0).
unicorn(5,0).
unicorn(6,0).

solution(X,Y) :-
    between(0,6,X),
    Z is X-1,
    Y is Z mod 7,
    (lion(X,1).lion(Y,0);
     lion(X,0).lion(Y,1)),
    (unicorn(X,1).unicorn(Y,0);
     unicorn(X,0).unicorn(Y,1)).

?- solution(X,Y).
X = 4,
Y = 3.
```

1 週間は7日だから、曜日は7で割ったあまりの数、つまり、0から6までの整数で表すことができる。本研究では、日、月、火、水、木、金、土曜日をそれぞれ0, 1, 2, 3, 4, 5, 6とした。

ライオンは月、火、水曜日に嘘をつき、一角獣は木、金、土曜日に嘘をつくので、ライオンは1, 2, 3が一角獣は4, 5, 6がそれぞれ0となる。このプログラムを、「lion(曜日, 真偽).」と示す。

Xを会話当日の曜日、Yを会話前日の曜日とすると(ただし、Xは0から6までの整数とする。), YはX-1を7で割ったあまりの数となる。会話当日の曜日は示されていないため、ライオンと一角獣が嘘をついているかついてないかはどちらも判断できない。そのため、ライオンと一角獣が嘘をついているかついてないか、それぞれ場合分けをした。

よって、X = 4, Y = 3より、会話当日の曜日は木曜日である。

② 数独の解法

```

:- use_module(library(clpfd)).

sudoku(Rows) :-
    Rows = [[X11,X12,X13,X14,X15,X16,X17,X18,X19],
             [X21,X22,X23,X24,X25,X26,X27,X28,X29],
             [X31,X32,X33,X34,X35,X36,X37,X38,X39],
             [X41,X42,X43,X44,X45,X46,X47,X48,X49],
             [X51,X52,X53,X54,X55,X56,X57,X58,X59],
             [X61,X62,X63,X64,X65,X66,X67,X68,X69],
             [X71,X72,X73,X74,X75,X76,X77,X78,X79],
             [X81,X82,X83,X84,X85,X86,X87,X88,X89],
             [X91,X92,X93,X94,X95,X96,X97,X98,X99]],
    maplist(rule, Rows),
    Columns = [[X11,X21,X31,X41,X51,X61,X71,X81,X91],
               [X12,X22,X32,X42,X52,X62,X72,X82,X92],
               [X13,X23,X33,X43,X53,X63,X73,X83,X93],
               [X14,X24,X34,X44,X54,X64,X74,X84,X94],
               [X15,X25,X35,X45,X55,X65,X75,X85,X95],
               [X16,X26,X36,X46,X56,X66,X76,X86,X96],
               [X17,X27,X37,X47,X57,X67,X77,X87,X97],
               [X18,X28,X38,X48,X58,X68,X78,X88,X98],
               [X19,X29,X39,X49,X59,X69,X79,X89,X99]],
    maplist(rule, Columns),
    Blocks = [[X11,X12,X13,X21,X22,X23,X31,X32,X33],
               [X14,X15,X16,X24,X25,X26,X34,X35,X36],
               [X17,X18,X19,X27,X28,X29,X37,X38,X39],
               [X41,X42,X43,X51,X52,X53,X61,X62,X63],
               [X44,X45,X46,X54,X55,X56,X64,X65,X66],
               [X47,X48,X49,X57,X58,X59,X67,X68,X69],
               [X71,X72,X73,X81,X82,X83,X91,X92,X93],
               [X74,X75,X76,X84,X85,X86,X94,X95,X96],
               [X77,X78,X79,X87,X88,X89,X97,X98,X99]],
    maplist(rule, Blocks),
    maplist(label, Rows),

    rule(X) :- X ins 1..9, all_different(X).

solver(N) :-
    problem(N, Rows),
    sudoku(Rows),
    maplist(writeLn, Rows).

problem(1, [[_,_,5,3,_,_,_,_],
             [8,_,_,_,2,_,_,_],
             [_,7,_,1,_,5,_,_],
             [4,_,_,5,3,_,_,_],
             [_,1,_,7,_,_,6],
             [_,3,2,_,_,8,_,_],
             [_,6,5,_,_,9,_,_],
             [_,4,_,_,3,_,_,_],
             [_,_,_,9,7,_,_,_]]).

?- solver(1).
[1,4,5,3,2,7,6,9,8]
[8,3,9,6,5,4,1,2,7]
[6,7,2,9,1,8,5,4,3]
[4,9,6,1,8,5,3,7,2]
[2,1,8,4,7,3,9,5,6]
[7,5,3,2,9,6,4,8,1]
[3,6,7,5,4,2,8,1,9]
[9,8,4,7,6,1,2,3,5]
[5,2,1,8,3,9,7,6,4]
true

```

数独は横 (Rows), 縦 (Columns), ブロック (Blocks) にそれぞれ数字が重複しないよう 1 から 9 までの数字を埋めていく問題である。本研究では, Arto Inkala 博士らによって作成された世界一難しいと言われている数独を用いた。

この数独を解くためにインターネットでいくつかの解法を探し, 問題を解いた結果, 左に記したプログラムが有用であった。

初めに, 各マスに X 1 1 から X 9 9 までの番号を, 左のプログラムのように振り分ける。これにより数独の問題を一般化することができ, 他の数独を解く際, プログラムを書き直す必要がなくなる。また, 各横, 縦, ブロックをまとめて指定することが可能になる。これを利用して, 横, 縦, ブロックをそれぞれ一括りにして扱いやすくした。次に, 数独のルールに従って, 各マスに入る数字を決めるために, 「各マスに入る数は 1 から 9 までの数字であり, かつ, 全て異なる」というルールを各横, 縦, ブロックに適用させる。最後に, 答えを表示させるプログラムを加える。このプログラムを利用することで問題としていた数独を解くことができた。

ここまで平易なプログラムで問題が解けるのは, 最初に書かれている「use_module(library(clpfd)).」の効力が大きい。これは Prolog に元から備わっている関数を使えるようにするものだが, それらの関数を, 1 からプログラムするのは非常に複雑で難しい。今回の解法でもいくつかの関数を用いており, その関数がどのようにプログラムされ, 動いているのかを解明することで, プログラム実行の裏で何が起きているのか理解することができる。

4 参考文献

リチャード・ジェフリー, 1995, 形式論理学, 産業図書

戸田山和久, 2014, 論理学をつくる, 名古屋大学出版会

杉崎昭生, 1995, Prolog を学ぶ—文化とその実践—

海文堂

SWI Prolog Reference Manual version 8.0-2

<https://www.swi-prolog.org/>

神戸大学 Prolog ホームページ

<http://bach.istc.kobe-u.ac.jp/prolog/>

M.Hiroi's Home Page お気楽 Prolog プログラミング入門

http://www.nct9.ne.jp/m_hiroi/

<https://apoup.blogspot.com/2013/110blog-post.html>

レイモンド・M・スマリヤン, 川辺治之, 2013, この本の

名は?嘘つきと正直者をめぐる不思議な論理パズル,

日本評論社