平成26年度指定スーパーサイエンスハイスクール

平成 28 年度(2016 年度)

# 生徒研究報告集

千葉県立船橋高等学校

# シャープペンシルの芯にかかる力と折れやすさ

# The Critical Force to Break a Mechanical Pencil Lead

#### 千葉県立船橋高校 理数科3年 山本竜也

#### Abstract

In my childhood, I wondered why mechanical pencil leads break so easily. So I started studying to find the condition where mechanical pencil leads can break. I guess 3 factors in breaking leads are pen pressure, length of bare leads, and angles of leads. In Experiment 1, the tip of the lead was pulled by the string with weights in the direction perpendicular to the lead axis. The critical force to break the lead was measured with various length of the bare lead. As a result, I found that the inverse number of the critical force is almost proportional to the length. In Experiment 2, a normal force was added to the lead by a jack with various angles on the paper. The normal force to break the lead was measured with electronic scale. Then, I found that the data has the maximum value in 100-110 °. From the two experiments, it is hard to be broken when the bare lead is short and the angle of it is about 100-110 °.

#### 動機·目的

私は小さいころから筆圧が強く、よく鉛筆やシャープペンシルの芯を折っていた。芯が折れに くくなるようなシャープペンシルの持ち方を発見したいと思い、シャープペンシルの芯の折れに くい条件や折れやすい条件を調べるためにこの研究を始めた。

シャープペンシルの芯が折れる要因として、筆圧、シャープペンシルから出す芯の長さ、シャ ープペンシルを机に立てたときの角度が考えられる。そこで、<u>シャープペンシルの芯が折れる瞬</u> 間に芯の先端にはたらく力とシャープペンシルから出す芯の長さ(実験 1)と芯の角度(実験 2)の 関係を定量的に測定した。

#### 実験1(芯の先端にはたらく力と芯の長さとの関係)

- 1,シャープペンシルをスタンドに床と水平に固定する。
- 2, 芯の先端に真鍮の金具を垂直にかける。金具につけ たひもの他端には1.0g単位でおもりをつるし、水平 に滑車にかけ、芯の先端に対して垂直に力をかける。
- おもりを増やしていき、芯が折れたときのおもりが かけていた力を測る。これを、シャープペンシルから 出す芯の長さを変えて行う。



#### 図1-1 実験1の様子

おもりをつるすことで芯の先端に垂直な力をかける。芯 が折れたときのおもりの総重量を芯を折るために必要な 最小限の力とする。芯の長さを変えて実験を行い、芯の 長さと芯を折る最小限の力との関係を測定する。

#### 実験1の結果



縦軸を芯の折れる瞬 間の力、横軸を出した芯 の長さとしてグラフを作 成すると、反比例のグラ フのようになったので、 縦軸を芯の折れる瞬間の 力の逆数としてグラフを 作成した。

<u>グラフより、芯の折れる</u> 瞬間の力の逆数と出す芯 の長さには一次関数の関 係がある。

図 1-2 芯の折れる瞬間の力の逆数(1/N)と出した芯の長さ(mm)の関係 直線は3回の平均の最小二乗法による近似直線をあらわす。切片は負の値になった。

#### 実験1の理論

シャープペンシルから出ている部分の芯の長さを L、 芯の先端にはたらく力を f、シャープペンシル内部で 芯を押さえている点(点 P)からシャープペンシルの先 端までの長さを L'(定数)、シャープペンシルの先端 にかかる力を f'(定数)とする(図 1-3)。芯が折れる瞬 間の点 P を軸とすると力のモーメントのつり合いの式 は、

$$f' \times L' = (L + L') \times f$$

整理して、

$$\frac{1}{f} = \frac{L}{f' \cdot L'} + \frac{1}{f'}$$

シャープペンシル / f' L' L

図 1-3 シャープペンシルの芯の先端にはたらく力をあらわすモデル シャープペンシルの芯の先端にはたらくカ f、シャープペンシルの先端にか かるカ f'、シャープペンシル内部で芯を支える力の 3 力によって芯が折 れると考えた。

よって、 $\frac{1}{f}$ とLは傾き $\frac{1}{f'L'}$ 、切片 $\frac{1}{f'}$ の一次関数の関係になる。

これは実験結果(図 1-2)をよく表している。

## 実験1の考察

理論と実験の比較から、実験をよくあらわす理論を構築できた。

図 1-2 の切片からシャープペンシルの芯が折れる条件となる力 f'が求められるが、実験結果では切片は負になってしまった。また、L'の値がわかれば、傾きから f'が求められるが、点 Pの位置がわからなかったため L'を測定することが出来なかった。しかし、0 点補正や L を 0 mm に近付けた実験から、f'は 10 N、L'は 0.5 mm 程度になることがわかった。

#### 実験2(芯にはたらく垂直抗力と芯と面のなす角度との関係)

- 先端から芯を 5.0 mm 出したシャープペンシルを スタンドに角度をつけて固定する(実験1と同じ芯 を使用)。その下にジャッキを設置し、電子てんび んを乗せ、電子てんびんの上にわら半紙を乗せる。
- 2, ジャッキを上げて、芯に力をかける。わら半紙 にひもをつなぎ、ひもを水平に滑車にかける。
- 3, ひもの先に 500 g のおもりをつるし、わら半紙 を 30 cm 引く。芯が折れなかったとき、芯にかけ る垂直抗力を少し大きくして再び実験を行う。芯が折れ たとき、ジャッキが芯にかけていた垂直抗力(電子てん びんが示していた値)を記録する。これを、芯と電子て んびんのなす角度θを変えて行う。



図 2-1 わら半紙をスライドさせる前の様子 ジャッキの高さを調節することで芯にかける垂直抗 カを調節する。芯が折れたときの垂直抗力のうち最 小のものを記録した。芯と電子てんびんのなす角度 を変えて実験を行い、芯にかかる最小の垂直抗力と 芯と電子てんびんのなす角度との関係を測定する。





図 2-2 芯の折れるときの垂直抗力 N(N)と芯が電子てんびんとなす角度  $\theta$  (°)の関係 曲線は理論値で  $\theta$  = 90 °、 $\theta$  = 114 °を漸近線にもつ。データは 0~50 °と 110~180 °の範囲では N=Fc/lcos  $\theta$  |の式であらわすことができる。なお、110~160 °(灰色の点)では、わら半紙をスライドさせ る前に芯が折れたので、そのときの垂直抗力を記録した。

#### 実験2の理論

芯と机の間の角度を $\theta$ 、芯にかかる垂直抗力(ジャッキ でかけた力)をN、芯と紙との間の静止摩擦係数を $\mu$ 、5.0 mm 出ている芯を折る芯に垂直な力をFc とすると、Fc はN を分解した力と $\mu$ N を分解した力の合力であるので、

#### $\mathbf{F}\mathbf{c} = \mu\mathbf{N}\sin\theta + \mathbf{N}\cos\theta$

と表せる。Nの大きさを考えて整理すると、



図 2-3 角度のついた芯にかかる力をあらわしたモデル N とµNの芯との垂直成分が芯を折る力 Fc となる。芯との平行成分 は、芯を押し込んだり引っ張ったりする力となる。

$$\mathbf{N} = \frac{\mathbf{F}\mathbf{c}}{|\mu\sin\theta + \cos\theta|}$$

実験1より、Fc=1.4N、 $\theta$ =90 °のときFc= $\mu$ Nより、 $\mu$ =Fc/N=0.44なので、これらの数値を代入して実験結果と比較した(図2-2実線)。また、 $\mu$ Nsin $\theta$ +Ncos $\theta$ =0のとき、すなわち $\theta$ =114 °のとき、芯にかかる力の垂直成分が相殺され、理論上芯が折れない(図2-2漸近線)。

#### 実験2の考察

図 2-2 において、実験のグラフと理論のグラフは角度θが垂 直に近いところ(約 90~100°)で一致した。芯の角度θが水平



に近いとき、芯を折る力は摩擦力の分力 $\mu$ N $|sin \theta|$ より垂直抗力の分力 N $|cos \theta|$ の方がはるかに大きくなる。紙を引く前から N $|cos \theta|$ が芯を折る力 Fc と一致していたと考え、Fc=N $|cos \theta|$ のグラフと実験データを比較すると、約 0~50 °と約 110~180 °の範囲で一致した。

90 °以上のとき、垂直抗力の分力 Ncos  $\theta$  と摩擦力の分力  $\mu$  Nsin  $\theta$  は逆方向なので摩擦がはた らくと芯を折ろうとする力は弱くなる。芯に摩擦力がはたらかないとき、芯を折ろうとする力が 最も大きくなるので、この範囲でデータのほとんどが N=Fc/ $|\cos \theta|$ のグラフに乗ると考えられ る。実際、110~180 °の範囲ではわら半紙をスライドさせる前に芯が折れた。そのため、理論 上では $\theta$ =114 °で芯は最も折れにくくなるが、実験では最大値は 90~114°の間にあった。

以上から、約 50~90 ° の範囲のグラフは N=Fc/| $\mu \sin \theta + \cos \theta$ |のグラフと N=Fc/| $\cos \theta$ |の グラフを合成したものだと考えられるが、90 ° を境に傾きが急に変わった理由はわからない。

#### 結論

実験1より、シャープペンシルから出す芯の長さが短く、実験2より、芯の角度がペンの進む 方向に対して、100~110°に近いと芯は最も折れにくい。

日本では文字は原則左から右側へ書く。これを実験2と比較すると、右利きでは $\theta$ <90°,左 利きでは 90°< $\theta$ と対応し、グラフより芯が折れない筆圧(垂直抗力)は 90°~114°の範囲にあ ることから左手で文字を書いた方が折れにくい。

#### 参考文献

#### 日本筆記具工業会 <u>http://www.jwima.org/sharp-pencil/s02-1sharp-pencil/s02-1sharp-pencil.html</u> pencil-friend.com <u>http://www.pencil-friend.com/use-kosa/</u>

#### 反省·感想

自分の身近な疑問をテーマにすることができたので、非常によい研究ができたと思う。特に、 実験に対する理論を考えて、実験結果と比べて考察できたことがよかった。また、実験2では芯 の角度が水平に近づくほど失敗する回数も多くなって苦労することもあったが、あきらめずに実 験をしてかなりよいデータが取れたので、失敗してもあきらめてはいけないということを学んだ。

今後研究を続けるとしたら、他の種類の芯でも実験をして、立てた理論の普遍性を確立したい。 さらに、研究では左利きの方が筆圧が強くても芯が折れにくい結果となったが実際に右利きの人 の筆圧と左利きの人の筆圧を測り、右利きと左利きで筆圧の違いがあるのか統計的に調べたい。

# 反射後の運動する球の軌道の性質

 $\sim$ The nature of orbits of moving balls after rebounding $\sim$ 

県立船橋高校理数科2年 守友功成·石倉光太郎

2016年1月26日

# Abstract

We rolled a ball to the wall and observed a trajectory. After rebounding from the wall, the trajectory is curved in some cases. We wondered at this phenomenon. So we showed a trajectory to a chart and investigate time dependence on the ball direction.

Eventually, trajectories tend to be straight after curve except for angle of incidence  $0^\circ\,$  .

# はじめに

ボールをまっすぐ転がしたときに、壁に当てて跳ね返った後 の軌道が一直線でないことに疑問を持った。そこで、この現 象について詳しく調べることにした。

# 研究目的

壁との衝突後,球の軌道と壁とのなす角はどのように変化するのか を明らかにする。球が跳ね返った後に直進しないのはなぜかを明ら かにする。

# 研究方法

まず、軌道のグラフがどのようであるかを確認するために以下のような実験を行った。

コースターを用いて金属球を初速 1.0m/s で紙面上に転がして 木の材質の壁に当て、反射させる。運動の様子を上からハイス ピードカメラを用いて撮影した。撮影した動画を ImageJ とい うソフトウェアを用いて軌道を解析した。なお、金属球の質量 は 17g で、入射時の球の運動方向と壁とのなす角度を 0°、 15°、30°、45°、60°、75°に変えてそれぞれ 5 回ずつ実 験を行った。



# 研究結果

壁に衝突した点を原点とする、撮影した画面の座標平面に軌道を 点で表すと以下のようになった。



この結果より、15°,30°,45°,60°の入射角で転がしたボールの軌道が反射後に曲がっていることを確認した。そこで、ボールの軌道の傾きの変化を時間経過とともに調べることにした。時間をxとし、軌道とX軸のなす角をyとしてグラフにした。すると、以下のようになった。



— 7 —

# 考察

結果のグラフから軌道と X 軸のなす角が時間の経過とともに 徐々に小さくなっていき、その後、ほぼ一定の角度を保ちながら、 球が運動している。よって、球は反射後に曲がった後、直進して いることが分かった。入射角 0°で転がしたときは X 軸方向の運 動はない。よって、この時は球の軌道が曲がることはない。ここ で、実験での入射角 0°の軌道を表したグラフにおいては軌道が Y 軸からずれているが、これは実験の過程で出てしまった誤差と いえる。

# 結論

軌道と X 軸のなす角の変化のグラフは入射角 0°のときをのぞいて、一定時間の経過と同時に一定量ずつ角度が小さくなった後に一定の角度になる。したがって、グラフはそれぞれ一次関数であると分かった。

# 反省・感想

私たちの研究班は研究テーマを決定するまでに3ヶ月かかって しまったので、実験を始めるまでに大幅におくれをとってしま い、内容をあまり深くつきつめることができなかった。また、そ れにより研究を続けるモチベーションを維持できなかった。テー マを決定するにあたり、大切なことは具体的な研究内容を決めて すぐにとりかかろうとすることはしてはならないということと、 ひごろから気になったことや、疑問に思ったことに目を向けて研 究を始めることだと感じた。また、知識や情報が豊富であること が、研究を進める上で有利だと思った。

# おこし回転の走り幅跳びへの応用

# $\sim$ Applying causing rotation to Longjump $\sim$

県立船橋高校2年I組

# Abstract

In this study, I focused the causing rotation which is used as a High jump of technology. Causing Rotation, when it has a horizontally uniform motion, and by applying a force at an angle relative to the ground, with respect to when a force applied perpendicular refers to a theoretical jump higher. The result of experiment, I found that there is a close relationship between the horizontal force and the crossing angle.

#### 概要

走高跳の技術として用いられる、おこし回転を鉛直方向の運動の走高跳から、水平方向の運動の 走幅跳に生かす研究をする。また、この研究における、おこし回転の実験の結果より走幅跳のス ピードと最適踏切角度の関係性を探る。身体のモデルとして、25 cmのグラスファイバー製の 棒を用いた。

## おこし回転とは

直線運動をしている際に、地面に対して斜めに力を加えることで、水平方向の力を起き上がる力 に変換し、垂直に力を加えた時よりもより高く跳ぶ理論のこと。<図1> また、地面と接触した際にしなることで、起き上がる力を生み出している。<図2>



〈図1〉

〈図2〉

# 実験装置及び、方法

#### 1. 実験装置

おこし回転を用いるために、地面に対し て斜めに入射できるよう投射できる装置 を用いた。

装置は、図1のように、エナメル線のコ イルで作られた、電磁石の中にバネとフェ ライト棒を入れ、グラスファイバーの棒を 挟んだ。そして、手元のスイッチ〈図2〉 でタイミングを調整して、電流を流しグラ スファイバーの棒を投射できるようにし



た。また、棒を挟む際に地面に入射する角度を調整している。〈図3〉



### 2. 測定方法

- ・ハイスピードカメラ()を用いて、棒が地面に入射するときの様子を動画で撮影した。
- ・台車に投射装置を乗せ、初速をつけ等速運動を棒にさせ、投射した。
- ・投射角度、飛距離、跳躍した高さを測るため、コンピューターの画面上で比を用いて行った。

#### 3. 測定項目

〈棒の跳躍角度〉

・地面に入射した点(跳躍点)から最高点に達した時の重心を結ぶ線と地面との為す角 (跳躍角)を測定する。跳躍角と入射角の関係を見る。

〈棒の跳躍した高さと跳躍距離〉

- ・跳躍した高さは、棒の一番高いところに達したところから地面までの距離を測る。
- ・跳躍距離は、跳躍点から、地面に最初に接地したところまでの距離を測る。

・どちらも、撮影場所に立ててある直定規の40cmを基準に、画面上での比率で実際の距離を計算する。

# 測定結果および考察

1.跳躍の高さと入射角度



が最高点をどれも記録していた。

入射角度が 20Nの時 85°、 10Nの時 87°に近くなるに つれて、跳躍した高さは高く なっていった。

最高値は85°の時に59c m、87°の時55cmを記録した。

水平方向の力が強くなると、 高くとぶために必要な入射角 度が小さくなっていっている ことが分かった。また、重心



また、入射角度が深くなると起き上がるまでの時間が長くなるため、地面との接地時間がと

ても長くなり、回転するためのエネルギーが足りなくなり、跳躍距離がマイナスになってしまったと考える。

90

**-20**N

92



入射角が大きくなればなる ほど、跳躍角が小さくなってい るのが分かった。入射角がおお きくなると、棒も起き上がりや すくなることが、グラフより分 かった。

水平方向の力の増減は、跳躍角 の減率に関係しないことが分 かった。

#### 2.跳躍距離と入射角度

50

40 30

20

10 0

-10

-20

80

82

 $\boxtimes 2$ 

84

86

入射角度〈゜〉

跳躍距離と入射角度

88

跳躍距離〈cm〉

# 結論

今回使用した、グラスファイバーの棒において、結果1より水平方向の力と入射角度に は密接な関係があることが分かった。結果1,2を比較したときに跳躍距離と跳躍した高 さに関係性があるといえる。

# 今後の課題

今後は、棒のしなりの復元力や、棒のヤング率、地面との摩擦力を考慮して理論値を出し て、実際の値と比較していきたいと思う。また、実際の身体の動きを撮影し、おこし回転 がどのように用いられているのか、研究していきたい。

## 謝辞

・順天堂大学スポーツ健康科学部准教授 越川一紀先生にはおこし回転の理論について詳 しくご教授いただきました。御礼申し上げます。

## 参考文献

靴の反発を使って浮く <u>http://www.asahi-net.or.jp/~mi3t-ysok/richi.htm</u> 三次元動作解析を用いた疾走動作コーチングの基礎的分析 www.topic.ad.jp/sice/papers/269/269-10.pdf

・おこし回転 ・跳躍角 ・踏切動作

# 荷物の偏りによる走行安定性の変化

Packages Impacts Causes for the Handcart Overturn

千葉県立船橋高等学校理数科3年 片山智就 茶家翼

#### Abstract

We know truck accidents happen 1000 incidents per year. The deviation of loads is pointed out as a reason. So, this study show that maintaining driving stability. In first experiment, when a weight moves one edge to the other edge, we measured the 3D acceleration of the handcart. And we calculated the acceleration value to the force value. The result shows that the faster the weight moves, the more the forces increased. We suggested that the forces reduced driving stability.

So, we designed the instrument to reduce the forces. The instrument has two weights. Two weights keep driving stability. As a result, the instrument could absorb it.

#### <研究目的>

毎年トラックの横転事故が多発している。横転事故の原因の1つとして、荷物の偏りが指摘されている。そこで荷物が荷台の中で移動する時のトラックの走行安定性に着目してモデル実験を行った。

#### く実験>

#### ~予備実験~

実験装置(写 真 1)を制作し た。

モーター(写 真上部)を使っ て毎(写真中央 の白い箱)を動 かす。モーター に加えるモーター で、てまして を 制御する ことができる。



この装置を使って、台車が走行している間に錘が一端から他端に X 軸方向に移動する時の台車の 三次元的な加速度を計測した。そこから運動量を計算した

測定方法はスマートフォンのアプリケーション「Accelerometer Monitor」を使用した。加速度の 測定は50回/秒とした。尚、座標系は写真1のように設定した。



モーターに加える電圧を上げると錘の移動速度は速くなる。モーターに加える電圧を上げると三 次元的な(XYZ 軸方向)運動量と X 軸方向の運動量は増加した。しかし、進行方向である Y 軸方向の運 動量は一定である。

また、X軸方向の運動量の増加に伴って台車の軌道は曲線を描くようになった。

これらのことから三次元的な(XYZ 軸方向)運動量の変化は錘の移動速度の変化に依存すると考え られる。

#### ~本実験~

予備実験において、錘の移動速度が増加す ると台車は曲がった軌道を描くようになっ た。このことは走行安定性が低下しているこ とを示す。そこで走行安定性を保つ為の機構 を考案し、検証した。

#### ~機構~

錘(荷物)が一方向に移動するときに荷物 が台車に与える衝撃によって走行安定性が低 下することがわかった。そこで、錘(荷物) の運動方向は逆方向に運動する錘を同時に動 かすことによって、走行安定性を維持できる と考えた。しかし、錘(荷物)を一方向に動 かすだけでは、モーメント力が発生して、か えって走行安定性が低下する。だから錘を往 復運動させ、徐々に往復運動の振幅を小さく することによって、走行安定性を維持できる と考えた。



#### ~実験~

錘1と錘2をそれぞれ、50g:50g, 100g:50g, 100g:0gと設定した。



台車の進行方向左側を負領域、右側を正領域と設定した。 負方向の運動量と正方向の運動量を算出した。

力が相殺されているならば正方向と負方向の運動量の差は0になると予想した。

~結果~

Voltage (V)	0.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00
50g:50g	561.00	377.00	561.00	795.00	855.00	1039.00
	-566.00	-375.00	-566.00	-795.00	-857.00	-1047.00
	-4.00	1.00	-4.00	-1.00	-2.00	-8.00
100g:50 g	399.00	571.00	934.00	882.00	1789.00	1662.00
	-402.00	-577.00	-935.00	-881.00	-1785.00	-1661.00
	-3.00	-6.00	-1.00	1.00	4.00	1.00
0g:100g	343.00	648.00	947.00	952.00	1128.00	1326.00
	-346.00	-654.00	-951.00	-953.00	-1129.00	-1332.00
	-3.00	-6.00	-3.00	-2.00	4.00	-6.00

正方向の運動量及び負方向の運動量と比較して差がかなり小さい。50g:50gのときは真っ直ぐに走行したが、100g:50gのときと0g:100gのときに台車は曲がった軌道を描いた。このことから機構は走行安定性を維持するのに一定の効果があるが十分な性能はないと考えられる。



~考察~
錘1(M)と錘2(m)
の質量が同じ時(M=m)、運動方程式からF1=M×a1=m×a1
=F2(a1は加速度)となり、台車は直進する。しかし、錘1が錘2より重いとき(M>m)、運動方程式からF1=M×a1>m×a1
=F2よりF1>F2となり台車は曲がった

軌道を描く。

軌道が曲がるのを防ぐためには、錘1の加速度が錘2の加速度より小さくなるように制御して、錘1の加速度をa2(a2<a1)とすればF1'=F2'となり台車は直進すると考えられる。

#### ~反省~

#### 片山智就

この課題研究を通じて苦心したのは、研究と発表です。研究は実験方法からデータ整理まで「本当に これでいいのかな?」と疑念が絶えませんでした。一方で発表は「どうしたらみんなに自分の研究を わかってもらえるかな?」と散々悩みました。実験方法が一から実験装置を組み立てて複雑な動きを する装置になってしまったので、簡単には伝えることができませんでした。それでも「視覚的に分か りやすかった」と言ってもらえた時は達成感を感じました。この課題研究というカリキュラムを通じ て研究のやり方だけでなく他人とのコミュニケーションも学ぶことができて、本当に有意義な時間に なったと思います。

#### 茶家翼

私たちはテーマ決めに多くの時間を割いてしまいました。そのため課題研究にかけられた時間が少な くなってしまいました。実験中にも幾度かトラブルがありましたが無事に課題研究を終えることが出 来ました。この経験を通して、早くテーマを決めて課題研究にかける時間を多くすることはとても重 要なことだと学びました。実験を行う前に実験器具や方法を確認するとトラブルなく実験を行えると 思いました。

# 炎の導電性及び炎内の電子の動きについて

Conductivity of Flame and Electron's Motion

千葉県立船橋高校 理数科2年

#### Abstract

Flame is thought to be plasma. I researched about the conductivity of flame and electron's motion. I did experiments by using carbon rods as an electrode. I used the maximum power of burner to make the same flame all the time. There are some differences between inner flame and outer flame, so I did experiments only about outer flame. First, I measured the resistance of the electric current which crosses the flame in several patterns. But the result was unstable. So, I thought that electrons flow along the flame. From this experiment, I found that electron is flowing along the flame from the root to the top. So, I thought we can generate electricity from flame directly. Lastly, I measured the potential difference between burner and flame by changing the distance of the two. Then I found that potential difference has a peak.

#### 研究目的

炎内の電子の動きを明らかにすることで、炎自体から電圧を得る方法を見つける。 そしてプラズマの利用について考える。

#### 研究方法(全実験共通)

ガスバーナーの最大出力を用いることで炎の大きさを一定にした。 電極には φ 8mm の炭素棒を用いた。 値が常に変化しているため、各実験の最初の 10 秒を動画に撮り 1 秒毎に値を取った。 内炎と外炎は性質が違うものであると考え、外炎のみを対象に実験を行った。 実験の度に熱くなった炭素棒を冷却した。



#### 使用した炎の大きさ

#### 実験①

図1のように回路を組むことで炎を横切る電流の抵抗値を測定した。

1本目の炭素棒は内炎に極めて近い所で炎を遮断せずに固定し、…(図1の下の炭素棒) 2本目の炭素棒の条件を変えた。

条件…2本の炭素棒間の距離(以下距離)、2本目の炭素棒の炎との接触面積(以下接触面積) 接触面積はレンガを用いて炎を遮ることで変えた。







実験中、測定値の変動の幅がとても大きく安定しなかった。

その他に気付いた点として、金属抵抗とは違う点として、時間が過ぎるにつれて抵抗が小さくなっ ていた。

#### 考察

金属抵抗と同じように電流の通る面積が大きく、通る距離が短いほど抵抗は小さくなるが、一方で 温度と抵抗の関係は逆であると考えられた。その理由として、炎内の電子の動きが活発になっている からだと考えられた。

安定しなかったことから、炎内の電子の動きは炎を横切る動きよりも、炎に沿って飛ぶ動きの方が 主であると考えられた。

#### 実験②

図2のように回路を組むことで炎に沿って流れる電流の抵抗を測定した。 テスターが抵抗を測定する際に流す電流の向きを変えて2度実験をした。



結果



#### 考察

結果より、炭素棒が正極の時の方が電流を流しやすいことがわかるため、炎内の電子は根本から先端にかけて飛んでいると考えられた。

#### 実験③

図2のように回路を組み、バーナーと炎との距離を変えながら電位差を測った。 この実験のみ、15秒間の平均を取った。





最大で1.6Vを得ることができた。

電極を逆にした場合、テスターには負の数が表示された。

#### 結論

炎内の電子や陽イオンは根本から先端に向かって飛んでいる。

炎内において、電子と陽イオンの加速度の差やクーロン力によって、実験③の結果のような電位差 のピークが生まれると予想される。

#### 展望

炎の大きさを変える。 内炎も含めての実験をする。

#### 感想

2年間課題研究を進めて、研究において一番大事なものはデータであると思った。自分はデータを取るための時間をあまり作ることができなかった事を、後悔している。次に研究をするときは研究を第 一に考え、可能な限りデータを取りたい。

# 凹凸による台車の止まりやすさの変化

Changes in a Difficultly of Running by Bumps 千葉県立船橋高校理数科三年 神林 陽良

#### Abstract

I examined how long bumps of ground disturb moment of a car to apply bumps to a road. I experimented how long it was easy to stop when I changed some condition such as a kind of bumps, the weight of handcart and the number of wheel. When I changed kind of bumps, the distance difference was about 1cm. When I changed the number of wheel, the distance difference between fourth and third was 12cm. When I changed the weight of handcart, the distance difference between 2kg and 1kg was 3cm. Therefore, I thought that when the number of wheel was same, the distance difference influenced kinetic energy without being related to frictional force. So did the experiment which changed the weight and speed. When the height added 1cm, the distance became 7.4cm longer on average. When the weight added 0.5kg, the distance became 1.75cm on average. Therefore, the amount of changes of speed is more than the amount of changes of weight.

**目的** どの状態の車が凹凸でスピードを落とすのかを調べて、止まりやすい車の条件を考察する。 モデル化として BB 弾を 2cm おきに格子状に埋め込んだ板を用いて、台車の運動を解析する。車 輪の幅は1 cmである。

※BB 弾…Ball Bullet 弾(球状の弾丸)で、玩具の銃に使われている。

実験 1.

#### 実験道具

木の板 台車 BB 弾2種 (  $\phi$  5.9mm) 1m 定規×2 ストップウォッチ

#### 実験内容

質量 1.0kg の台車を一定の速さで走らせて、石粉と天然樹脂の BB 弾を埋めた木の板の、凹凸が 始まる地点から何 cm 進んだのかを 20 回計測して平均をとる。

4輪、天然石粉と樹脂の BB 弾、台車の重さが 1kg で行ったこの実験を基本実験として、様々な条件を変えてどのように結果が変わるかを調べる。





### 結果からわかること

- ・車輪の数を4輪から3輪にすると距離が二倍近く、具体的には12cmほど伸びた。
- ・プラスチックBB弾と天然石粉のBB弾は1cmしか差がなかった。
- ・台車の質量を1kg 増やすと距離が3 cmほど伸びた。

#### 考察

結果

- ・凹凸の種類は進む距離の長さに関係しないのではないか。
- ・車輪の数が同じ時、運動エネルギーが大きければ大きい程、距離が伸びてしまうのではないか。

実験 2.

実験道具 木の板×2 台車 天然石粉と樹脂の BB 弾 台車 1m 定規

**実験内容** 実験1の課題である「手押し」を、斜面を利用することで解決させた実験。同じ高さから初速度0で動かすことにより一定の速度を与えることが出来る。

実験 1. の結果から、速さ(高さ)と重さを少しずつ変えて凹凸が始まる地点から何cm進んだの かを 20 回計測して平均をとる。







# 結果からわかること

・1 cm高くなるごとに平均 7.4 cmほど距離が伸びた。

# 考察

運動エネルギー = 位置エネルギー = mgh より、運動エネルギーと進む距離に比例関係があると仮定すると 一定の増加量で増えていくと考えられる。



## 結果から分かること

・1 cm高くなるごとに平均 1.75 cmほど距離が伸びた。

#### 考察

運動エネルギー = 1/2・m v<sup>2</sup> より、運動エネルギーと進む距離に比例関係があると仮定すると 一定の増加量で増えていくと考えられる。

### 結論

- ・凹凸の種類と車の止まりやすさに関係がないと思われる。
- ・車輪の数が多いと、車が止まりやすい。
- ・車が軽ければ軽いほど、車は止まりやすくなる。
- ・車が遅ければ遅いほど、車は止まりやすくなる。

# 今後の課題

今回は、格子状の凹凸だと車の止まりやすさがどう変化するのかを調べたので、 次は異なる規則的な配置のときの車の止まりやすさや、砂利のようなタイプの凹凸だとどうなるの かを調べたい。

運動エネルギー=仕事の式を立てると、 $1/2mv^{2}=\mu mgx$ ( $\mu$ は転がり摩擦係数、gは重力加速度、xは台車が止まるまでの距離) 変形すると x=v<sup>2</sup>/2 $\mu$ g となり、距離は質量と関係が無いはずだが、 実験結果だと質量が大きいほど制動距離が長くなっているので このような結果になった理由についても考えたい。

#### 感想

今思うと、もう少し実験できたと後悔している。材質が違うといえど、どちらも同じBB弾では違いがあるとはあまり言えない。時間があれば同じ大きさの発泡スチロール弾などを用いて実験したかった。至らない点は多くあったが、至っている点も多くあったと思うので満足している。

# サイクロイド振り子の拡張

# Extension of Cycloid Pendulum

千葉県立船橋高校 理数科3年 柴勇斗

<Abstract>

Cycloid pendulum period is not affected by angle. This study is about inside cycloid pendulum and outside cycloid pendulum period.

First, I experimented about normal pendulum and cycloid pendulum period. The angle was changed from  $5^\circ$  to  $30^\circ$  .

The result was that normal pendulum period was affected by angle. Cycloid pendulum period was not affected by angle.

Next, I experimented about inside cycloid pendulum period. The ratio of inside circle to outside circle was changed four patterns.

The result was that 3:1 inside cycloid pendulum period was not affected by angle. The others ratio inside cycloid pendulum period was affected by angle.

<はじめに>

サイクロイド振り子には振幅を変化させても周期が変化しないという性質がある。そこで他に周 期の変化しない振り子があるのか研究する。

<目的>

・他種のサイクロイドではどのような振る舞いをするのかについて調べる。

・サイクロイド振り子以外に振幅を変化させても周期が変化しない振り子があるかを考察する。 <基礎知識>





サイクロイド x = a( $\theta$  - sin  $\theta$ ) y = a(1 - cos  $\theta$ ) (a は円の半径)

内サイクロイド  
x = (r - a) cos 
$$\theta$$
 + a cos  $\left(\theta - \frac{r}{a}\theta\right)$   
y = (r - a) sin  $\theta$  + a sin  $\left(\theta - \frac{r}{a}\theta\right)$   
(a は内円の半径、r は外円の半径)

-25-



外サイクロイド  

$$x = (r + a) \cos \theta - a \cos \left(\theta + \frac{r}{a}\theta\right)$$

$$y = (r + a) \sin \theta - a \sin \left(\theta + \frac{r}{a}\theta\right)$$
(a は外円の半径、r は内円の半径)

<予備実験>

・長さ1.55mの普通の振り子の振幅の角度を5、10、1
 5、20、25、30 。と変化させて各周期を調べた。

・発砲スチロールをつかってサイクロイド曲線を作成し、
 右の写真のように実験装置を組み立てて、各周期を調べた。

・それぞれ200回振り子を往復させて平均をとった。





<予備実験結果>

- ・グラフから普通の振り子は角度が20°以下ならば、周期が変化しないことがわかる。これは 単振子の性質である。
- ・普通の振り子の角度を20°以上にすると周期が急激に変化していることがわかる。
- ・サイクロイド振り子は角度を大きくしても周期が変化してないことがわかる。

<実験1>

内円10cmに対して、外円28、30、40,50cmの内サイクロイドを作成し 予備実験と同様に実験を行った。



<結果1>

・3:1内サイクロイドは周期が変化していないことがわかる。

・5:1内サイクロイドと4:1内サイクロイドは周期がサイクロイドと比べて長くなっている。
・5:1内サイクロイドと4:1内サイクロイドがほぼ同じ振る舞いをしている。

<考察1>

・内円に対する外円が小さくなると周期が小さくなると考えられる。

・サイクロイドと3:1内サイクロイドの周期がほぼ一致していることからこの2つには似たような性質があると考えられる。

<実験2>

内円10cmに対して、外円を3、5、10、20cmにした外サイクロイドを作成し、同様に 実験を行った。 <結果2>



- ・1:2外サイクロイドは周期がほとんど変化していないことがわかる。
- 1:0.3、1:0.5、1:1外サイクロイドは周期が変化していることがわかる。
- 1:0.5と1:1外サイクロイドはほぼ同じ周期になっていること がわかる。

<考察2>

- ・内円に対して外円が大きくなると周期が短くなると考えられる。
- ・サイクロイドと1:2外サイクロイドは周期が変化していないことから似た性質があると
   考えられる
- <展望>
- 3:1内サイクロイドと1:2外サイクロイドがなぜサイクロイドと似たような振る舞いをする のかについて数式化する。

<感想、反省>

最初はなんとなくこの研究を始めたが、1年間研究を続けることで面白いと感じるようになった。 途中いきづまることもあったが最終的には台湾に行き、研究の交流もできて面白かった。

# 水面上におけるボールの跳ね方

# How the Ball Bounces on the Surface of Water

3年 I 組 40 番 渡部孝信

## Abstract

I examine a connection between angle of incidence and angle of reflection when a ball shape bounces on the surface of water. Moreover, I examine a connection between a coefficient of bounce of horizontal direction and that of vertical direction. Experiment method is as follows I filled the tub with water, threw the ball toward the surface of the water and took that appearance by high-speed camera. The result shows that angle of reflection is larger than angle of incidence and a coefficient of bounce of horizontal direction is larger than that of vertical direction.

#### 目的

ボールのような球形の物が水面を跳ねる時に、入射角と反射角の間にはどのような関係があ るのかという事について調べる。

#### 方法

たらいに水を張り、水面に向かってボールを投げる(図1)。このとき、実験1では手でボールを投げ、実験2では速度を一定にするため、図2のような装置を使用してボールを投げた。 その様子をハイスピードカメラで真横から撮影し、その画像を利用して入射角と反射角を計測 する(図 3-1~6 は撮影した画像)。

実験1では入射角と反射角の関係について、実験2では水平方向と鉛直方向との跳ね返り係数 の関係についてそれぞれ調べた。 尚、ここではハイスピードカメラで撮影した画像から反射前 と反射後のそれぞれ一定コマ数の間にボールが水平(鉛直)方向に移動した距離を求め、{反射後 の水平(鉛直)方向の移動距離/反射前の水平(鉛直)方向の移動距離=水平(鉛直)方向の跳ね返 り係数}とした。





図 1



図 3-1



図 3-4



図 3-2



図 3-5



図 3-3





結果

実験1では次の4つの現象が認められた。

- ① 結果には弱い正の相関関係(相関係数:0.2271)が見られる。
- ② 比例はしていない。
- ③ 固体上とは異なり、入射角<反射角の関係が見られる。

④ 同じ角度でも跳ね返る時と跳ね返らない時があった。

④の原因としては、ボールを投げだした時の速度を一定にすることが出来なかったためとも考 えられる。

実験2では正の相関関係(相関係数:0.5684)が見られた。これにより、水平方向の跳ね返り 係数が大きい時は鉛直方向の跳ね返り係数も大きくなるという事が判った。また、今回出した 全てのデータにおいて水平方向の跳ね返り係数の方が鉛直方向の跳ね返り係数と比較して大き くなった。



以下に実験結果のグラフを示す。上が実験1の、下が実験2のものである。

0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9

水平方向の跳ね返り係数

1

0

0

#### 結論

実験1において、球の入射角と反射角の間には弱い相関関係があった。これは水が液体なので、 沈み込みなどが起こってしまうためと考えられる。

また、固体上とは異なり、入射角よりも反射角の方が大きくなる現象については、ボールが跳 ね返る前に少し水面を滑る、あるいは水中に少し潜り込むような動きをすることと関係がある ものと思われる。

実験2において、水平方向の跳ね返り係数と鉛直方向の跳ね返り係数との間に相関関係が見ら れたが、これは水平方向、鉛直方向の跳ね返り係数が共に小さい時は、水など外部からの影響 を強く受けているのでボールの運動自体が抑制されているためと考えられる。

また、水平方向の跳ね返り係数が鉛直方向の跳ね返り係数と比較して大きくなるという事については、鉛直方向の方が水平方向と比べてボールが水から力を受ける面積が大きいからであると考えられる。

#### 反省感想

今回の研究の反省としては、実験やデータの解析に多くの時間を割くことができず、十分な 結果を得ることができなかったといった点が上げられる。本来であれば、データの量を増やし、 研究をもう少し発展させたかったと思う。少なくとも、研究を開始した時点で研究の進め方を 計画していれば、少しは良い結果が得られたかもしれない。また、実験データの質についても 精度の低いものとなってしまったと思う。このあたりについては、実験方法から見直す必要性 がある。ただ、一年間かけて実施したこの課題研究によって、データの解析やプレゼンテーシ ョンの能力が身についたと思うので、その点では大いに意義のある研究であった。最後に、研 究発表会などでの発表時に指導や助言をして下さった、大学の先生をはじめとした各方面の 方々には、厚く御礼を申し上げる次第である。

# 様々な化学処理による木材の物性の変化

Change in the Physical Properties of the Wood by Various Chemical Processing

県立船橋高等学校理数科3年 明田俊佑 林海大

### Abstract

Our study's purpose is to control transformation of the wood by various chemicals. In first experiment, we soaked wood in water, saturated salt water, soapy water, limewater and glycerine. We dried the wood and measured curves and strengths of the soaked wood. As a result, when wood was soaked in limewater, it became the most difficult to bend and the most durable. So we soaked wood in different concentration lime water in next experiment. Then, the thicker concentration are, the nearer strengths are. And, the thicker concentration are, the more durable the wood is. It seems that there is not enough  $Ca^{2+}$  in thin concentration to help wood become durable. In last experiment We soaked wood in water, NaOHaq,  $Ca(OH)_{2}aq$ . Then, wood that was soaked in metal ion was more durable than wood that were soaked in Ca(OH)<sub>2</sub>aq. So the valence of metal ion seems not to be important for the wood's durability. Finally, conclusion is that physical properties of the wood are changed by various chemical processing. And, when the wood is soaked in metal ion, it becomes more difficult to bend and more durable.

## 始めに

木材の変形は木材の主成分であるリグニン、セルロース、ヘミセルロースに化学的に結合している水(結合水)の蒸発によって引き起こされる。そこで、木材に化学処理を行うこと によって木材の変形を防ぐことができるのではないかと思った。

## 実験1

#### 方法

- ① 木材(ヒノキ)を同じ大きさ (135 mm×9.5 mm×2.1 mm) で揃え大量に用意する。
- ② 加熱した NaOHaq (6 mol/L) に浸けて 90 分間処理する。
- 大量の水で木材の中の Na<sup>+</sup>、OH<sup>-</sup> を洗い流す。
- ④ 80℃に設定した乾燥機で木材を十分に乾燥させる。
- ⑤ イオン交換水、飽和食塩水、石鹸水、グリセリン、石灰水に分けて1日浸ける。
- ⑥ 表面の試薬を拭き取る。
- ⑦ 80℃の急速乾燥と自然乾燥に分け十分乾燥させる。



⑧ 木材の曲りと強度を測定する。(図1及び図2を参照。)

図1曲りの測定



図2強度の測定

#### 結果

- ・急速乾燥の方が自然乾燥よりも曲りが大きい。
- ・試薬によって曲りに2倍程の差が生じた。
- ・試薬によって強度に2倍程の差が生じた。



・2つのグラフは相反している。

#### 考察

・グリセリンに浸けた木材は他のどの試薬に浸けた木材よりも曲がりにくくなり、強度が 下がった。

・石灰水に浸けた木材はイオン交換水に浸けた木材と同等の強度を持ちながらも、イオン 交換水に浸けた木材より曲りが小さくなった。

石灰水に浸けた木材が理想に近い結果だったため、Ca<sup>2+</sup>と同じくアルカリ土類金属のイオンである Ba<sup>2+</sup>、St<sup>2+</sup> に着目した。

## 実験2

## 方法

① 木材(ヒノキ)を同じ大きさ (135 mm×9.5 mm×2.1 mm) で揃え大量に用意する。

② 加熱した NaOHaq (6 mol/L) に浸けて 90 分間処理する。

- ③ 大量の水で木材の中の Na<sup>+</sup>、OH<sup>-</sup>を洗い流す。
- ④ イオン交換水、Ca(OH)<sub>2</sub>aq、CaCl<sub>2</sub>aq、Ba(OH)<sub>2</sub>aq、BaCl<sub>2</sub>aq に分けて1日浸ける。
- ⑤ 表面の試薬を拭き取る。
- ⑥ 十分に自然乾燥させる。
- ⑦ 木材の曲りと強度を測定する。

#### 結果

・潮解性の強い試薬があったため測定できなかった。

Ca(OH)2aq の濃度に着目した。

## 実験3

## 方法

- 木材(ヒノキ)を同じ大きさ(100 mm×10 mm×7 mm)で揃え大量に用意する。
- ② 加熱した NaOHaq (6 mol/L) に浸けて 120 分間処理する。
- ③ 大量の水で木材の中の Na<sup>+</sup>、OH<sup>-</sup> を洗い流す。
- ④ 飽和 Ca(OH)<sub>2</sub>、飽和の 1/2 の濃度の Ca(OH)<sub>2</sub>、飽和の 1/4 の濃度の Ca(OH)<sub>2</sub>、飽和の 1/8 の濃度の Ca(OH)<sub>2</sub>、飽和の 1/16 の濃度の Ca(OH)<sub>2</sub>に分けて1日浸ける。
- ⑤ 表面の試薬を拭き取る。
- ⑥ 十分に自然乾燥させる。
- ⑦ 木材の強度を測定する。

#### 結果

・濃度が大きくなるにつれて、強度は大きくなりながら収束した。


金属イオンの価数に着目した。

## 実験4

## 方法

- ① 木材(ヒノキ)を同じ大きさ (100 mm×10 mm×7 mm) で揃え大量に用意する。
- ② 加熱した NaOHaq (6 mol/L) に浸けて 120 分間処理する。
- ③ 大量の水で木材の中の Na<sup>+</sup>、OH<sup>-</sup>を洗い流す。
- ④ イオン交換水、NaOHaq、Ca(OH)2aq に分けて1日浸ける。
- ⑤ 表面の試薬を拭き取る。
- ⑥ 十分に自然乾燥させる。
- ⑦ 木材の強度を測定する。

## 結果

- ・金属イオンに浸けた木材はイオン交換水に浸けた木材よりも強度が上がった。
- ・NaOHaqに浸けた木材とCa(OH)2aqに浸けた木材に差はあまり見られなかった。



## 結論

- ・木材の物性は化学処理によって変わる。
- ・木材を金属イオンに浸けると強度が上がる。

## 反省・感想

木材という同じ条件で揃えづらい物質を対象としたために、実験の回数が少なくなって しまった。しかし、実験方法はよく考えられたと思う。

千葉県立船橋高等学校 理数科課題研究 2016 年

# 鉄の形状とさびやすさの関係

The Relationship between the Shape of Iron and Rust 千葉県立船橋高等学校理数科3年

永井隆介

#### Abstract

There are still unknown points about the detailed nature of the rust. This research is going to reveal the nature of rust, focusing on the shape of iron. The experiment is conducted by scratching the surfaces of some pieces of iron with a cutter, and soaking them into salt water. The amount of the dissolving iron ions is an indicator of how much rust we get, and the spectrophotometer measure the amount of the iron ions by phenanthroline spectrophotometry. There seems to be a tendency that the more scratches there are, the more the iron pieces produce iron ions. In addition, the iron pieces that have more crossings seem to produce even more iron ions than ones that do not.

#### はじめに

「さび」の詳細な性質は未だ全て明らかではない。本研究では鉄の形状とそのさびやすさとの関係 について,鉄イオンの発生量から比較し,研究した。

#### 研究目的

鉄の形状とそのさびやすさとの関係について、特に辺の長さと頂点の数に注目して明らかにする。

#### 研究方法

- 概要 表面を加工した鉄片を食塩水に浸してさびさせ、食塩水中に溶け出した鉄イオンの量をさびの 量の指標としてフェナントロリン吸光光度法を用いて計測する。事前の予備実験から、傷の長 さと交差の数、すなわち辺と頂点がさびの発生量に影響を及ぼすと仮定できるため、その2点 に注目して実験を行う。また、実験に使用した鉄片の表面の様子を観察し実験の結果と合わせ て考察する。
- 試薬 3% 塩化ナトリウム水溶液 [NaClaq]
  - 6 mol/ L 塩酸 [HClaq]
  - 100 L 塩化ヒドロキシルアンモニウム水溶液 [(NH<sub>3</sub>OH)Claq]
  - 1 g/ L フェナントロリン水溶液 [C<sub>12</sub>H<sub>8</sub>N<sub>2</sub>aq]
  - 500 g/ L 酢酸アンモニウム水溶液 [CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub>aq]
- 手順 ① 約 1.5 cm 四方の鉄片を 7 個用意する。
  - ② 鉄片の表面にカッターで図1のように傷をつけ、表面の形状を変化させる。(図1)
  - ③ 鉄片より大きめのテープAとそれに1 cm 四方の穴を開けたテープBを用意し,加工した面のみがテープBの穴から露出するよう鉄片をテープで挟む。(図2)
  - ④ スクリュー瓶で 3% 塩化ナトリウム水溶液 5.0 mL に 30 分間浸す。(図 3)
  - ⑤ 塩酸 0.40 mL を加えた後,塩化ヒドロキシルアンモニウム水溶液を加えて振り混ぜる。
  - ⑥ フェナントロリン水溶液 0.50 mL と酢酸アンモニウム水溶液 1.0 mL を加えた後、イオン交換水を加えて精確に 10 mL にする。(図 4)
  - ⑦ イオン交換水をリファレンスにして分光光度計で吸光度を測定する。比較の基準は波長 510 nm の値とする。(図 5)

パターン							
ID	0-0	1-0	3-0	6-0	6-5	6-8	6-9
辺の長さ [cm]	0	2	6	12	12	12	12
頂点の数 [個]	0	0	0	0	20	32	36
(※微視的に, 傷1本につき2 cmの辺, 交差1個につき4個の頂点が存在すると考える)							

図1 傷のパターン



図2 テープで鉄片を挟む図



図3 実験中

図 4 フェナントロリン 図 5 分光光度計による吸光度の測定 反応後

## 研究結果

結果① 3日間で3回実験を行ったところ、結果は次のようになった。

波長	510	nm	にお	け	ろ	吸	光	库
	OTO.		1-90		$\sim$	~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	20/	~

実験日	0-0	1-0	3-0	6-0	6-5	6-8	6-9
03/01	0. 0259	0.0454	0.0524	0.0554	0.0473	0.0638	0.1448
03/02	0.0184	0.0276	0.0380	0.0386	0.0439	0.0404	0.0510
03/11	0.0184	0.0224	0.0931	0.0649	0.0679	0.0938	0.1197



- 気温などの条件の変化により実験日によってデータに差異が生じてしまった。
- グラフから、辺の長さがより長いほど、また、頂点の数がより多いほど、多くの鉄 イオンが検出される傾向があることがわかる。
- 結果② 実験に使用した鉄片のさびの分布をペイントソフトに描写し、合成してまとめたところ、 以下のようになった。(黒線…傷,濃灰部…さび)



#### 考察

得られたデータと鉄片の様子から,傷の際や交差,すなわち辺や頂点の周囲にさびが発生しやすい 傾向があることがわかった。

このように構造が一定ではない、転換点となるような形状の部位はさびやすいものと考えられる。

#### 参考文献

日本化学会編(1978)「身近な現象の化学」培風館 フェナントロリン吸光光度法による鉄の定量 http://kuchem.kyoto-u.ac.jp/ubung/yyosuke/uebung/chemusb/chemusb2.htm

#### 反省・感想

この一年間の取り組みを振り返って、改めて感じたのは、見通し・計画をたてることの重要性だ。 この個人研究の授業が始まった頃、私はそもそもテーマが決められず、決まってもなんだか方向性が 曖昧で、こんな風に進めていきたい、という見通しが立てられなかった。今の研究成果はそんな中で 手探りに実験を繰り返して改善や方向性の修正を繰り返してきた結果で、それはそれで良かったとも 思うのだが、どうしても時間に限りがある以上、予備実験レベルのデータとしての精度に劣る実験が 多く、きちんとしたデータの不足感が否めない。もっと多くのデータが有れば、もう少し詳しいとこ ろまで踏み込んだ考察ができたかもしれないし、インキュベータを使って温度を一定に保つなど、誤 差を少なくする工夫もできたかもしれない。となるとやはりもっと早くから今のカタチにたどり着い ていたらなあと思ってしまうのだ。

ただ,まだまだ完璧には程遠いが,今の段階で辿り着いた実験方法も,得られたデータも,そして そこから導いた考察も,自分でここまでやったんだと思うとなんだかとても達成感のようなものを感 じられ,感慨深い気持ちになる。外部で発表したり英語合宿をしたり台湾に行ったりと貴重な経験も できたし,先生方にも支えられて,課題研究では多くのものを得られたと思う。

私は船橋高校で課題研究をすることができて本当に良かった。

# 色素増感太陽電池の酸化チタン膜の厚さを一定にする工夫

Screen to Make Titanium Oxide Film of Dye-Sensitized Solar Cell at the Same Thickness 千葉県立船橋高等学校理数科3年 早田尊

#### • Abstract

Dye-sensitized solar cell (DSSC) is easy and inexpensive to make. But it has some problems such as volatility of electrolytes. After a few experiments, the result showed no reproducibility. The purpose of this study is to make DSSC under the same conditions. I made a screen to make titanium oxide films of DSSC and compared DSSC made in new ways with ones in existing ways. I adjusted the ingredient of titanium oxide paste to fit the screen. The result was that even DSSC made in new ways showed various graphs. I consider that even though the looks of titanium oxide film are the same, DSSC using the films have different performances. In conclusion, I could not make DSSC under the same conditions, but DSCC in new way have more stable conditions than ones in existing way.

#### ・はじめに

色素増感太陽電池はシリコン型太陽電池と比べ製作が容易で安価であり、身近な色素でも発電でき るため高校生によっても研究されている。しかし、電解液の揮発など実用化への課題があると知り、 より長く使える色素増感太陽電池を作ろうとした。ところが、電池の性能に再現性は見られなかっ た。

#### ・研究目的

先に述べたことから、一定の性能の色素増感太陽電池を作ることを試みた。そこで、最も再現性が 得られない原因となっている酸化チタン膜に着目し、一定の酸化チタン膜を作るためにスクリーンを 製作したが、従来の酸化チタンペーストは適さなかった。そこで、スクリーンに合うように酸化チタ ンペーストに工夫をし、従来の方法と比較した。

#### ・研究方法

電池の製作手順は以下の通りである。
1:導電性ガラスに白金をスパッタリングし、陽極とする。
2:別の導電性ガラスに酸化チタン膜を焼き付ける。
3:酸化チタン膜を色素で染色し、陰極とする。

4: 両極の間に電解液を注入し、極を圧着して電池とした。

## ・酸化チタン膜の製作方法の違い

ここで、今まで使っていた方法を従来法、スクリーンを 使う方法を新しい方法とする。

従来法 : ITO ガラスの表面にテープを貼って区切り、 酸化チタンペーストを滴下し、板で延ばす。

新しい方法:スクリーンの透明な部分はペーストが通るので, その部分にペーストを滴下し,板で延ばす。



図1 電池の製作手順



図2 製作したスクリーン

#### ・電池の原理

はじめに、電池に光を照射すると色素が電子を放出 する。次に色素から酸化チタンへ電子が移動し、色素 が酸化される。電子を失った色素は、やがて電解液中 のヨウ素から電子を奪って還元され、ヨウ素は正極か ら電子を受け取り元に戻る。

右図はペクセル・テクノジーズ株式会社より



#### ・電池の評価方法

電池の性能を評価する為に、最大電力値を比較した。電池と可変抵抗、電流計、電圧計を回路につ なぎ、抵抗値を変えるごとに電流、電圧値を測定した。電流値と電圧値をプロットしたグラフから近 似曲線を導き、Mathematicaを用いて最大電力値を求めた。

#### ・実験1ペーストの改良

スクリーンに合うように、酸化チタンペーストの成分比率を変化させた。 酸化チタン、酢酸、ポリエチレングリコール 4000、グリセリンの成分比を変化させたものを撹拌し

てペーストを作り、スクリーンで酸化チタン膜が作れるかどうか試した。 電子顕微鏡を用いて、従来法の酸化チタン膜と新しい方法の酸化チタン膜の表面を比較した。

#### 結果1

酸化チタン,酢酸,ポリエチレングリコール 4000,グリセリンをそれぞれ同質量ずつ混ぜるとペー ストがクリーム状になり,スクリーンを使って一定の面積で貼り付けることが出来た。焼き付け前と

後で,外見の変化はなかった。別のガラスに同じ ペーストを張り付けると、見た目は同じ酸化チタ ン膜が作れた。右図は電子顕微鏡で観察した酸化 チタン膜である。従来法は薄く広がっているのに 対し、新しい方法は表面に凹凸ができた。



#### ・実験2

新しい方法の酸化チタン膜(右)

従来法の電池と新しい方法の電池を比較した。 従来法と新しい方法の電池を数種類製作し、最大電力値を測定した。

#### ・研究結果2

最大電力値を色付き、その日の平均最大電力値を白抜きでグラフに表した。 毎回新たに作った同じ条件の電池で4回実験を行った。



その日の平均値との差を比べるため、平均との差の絶対値を平均値で割ったものをグラフにした。

![](_page_43_Figure_0.jpeg)

-43 -

![](_page_44_Figure_0.jpeg)

グラフ8 従来法の電池の最大電力値の平均値との差(左)と新しい方法の電池の最大電力値の平均値との差(右) 4回目

1、2回目のグラフでは最終日近くのグラフを比べると、従来法の電池の最大電力値より新しい方 法の電池の最大電力値の方が平均値との差が少なくなっている。

#### ・考察

実験1から、焼き付け後も酸化チタン膜の見た目が変わらなかったことから一定の厚さの酸化チタン膜を作ることができたと思われる。電子顕微鏡を使った測定から、従来法の酸化チタン膜と新しい 方法の酸化チタン膜の表面の様子は異なるので、単純に比較するのではなく同じ方法の酸化チタン膜 同士を比べる必要があると分かった。ちなみに表面の様子の差はペーストをクリーム状にすると薄く 広がりにくくなるので生じたと思われる。

実験2から、新しい方法の酸化チタン膜を使っても一定の条件で電池を作ることはできなかった。 しかし、新しい方法の電池は日が経つにつれ最大電力値のばらつきが小さくなったので、従来法より は安定した性能の電池を作ることができたと思われる。

#### ・結論

スクリーンを使うことで、一定の厚さの酸化チタン膜を作ることができた。

スクリーンで使った膜を使っても電池の性能を一定にすることはできなかったが、従来法よりも安 定した性能の電池を作ることができた。

#### ・今後の課題

この実験を繰り返し行い、結論に再現性があるか調べる。 再現性が見られたら、 電解液に着目して実験を行いたい。

## ・使用した色素増感太陽電池キット

品名「花力発電」 西野田電工株式会社 (今回の実験で使った酸化チタンペースト、ハイビスカス粉末、電解液)

#### 反省感想

私は2年近く電池に関する研究をしてきたが、自作の電池は性能が安定せず、思うように研究が進 まなかった。高校の範囲では、測定が簡単で再現性のある実験をした方が、より面白い研究ができる と思った。

# シュウ酸ビスを用いた化学発光の添加物と発光強度の関係

Influence of additive in Chemiluminecense caused by Bis(2, 4, 6-triclorophenyl)Oxalate

> 千葉県立船橋高等学校理数科3年 大塚竜征

## Abstract

In the chemiluminesence using bis(2, 4, 6-trichlorophenyl)oxalate. I examined a Change of the emission intensity when I added an additive. I prepare a mixed solution(A) of bis(2, 4, 6-trichorofeniyl), anthracene, Dimethyl Phthalete Next I prepare the mixed solution(B) of Hydrogen peroxide Dimethyl Phthalete and Sodium salicylate. When I installed RhodamineB and eyewash, solution(A) and(B), Emission intensity rose 66 on average. It is thought that catalyse changes by having added eyewash, compared with the owe which nothing add, and emission intensity rose.

## はじめに

先行研究では、シュウ酸ビスとフタル酸ジメチル、2-ブチル-2-プロパノールを用いた発光において、石鹸や食器用洗剤を加えると発光強度を上昇することが報告されている。そこで、身近なものを添加した時に発光強度を上げるものは無いか調べた。

#### 研究目的

シュウ酸ビス 2-4-6 トリクロロフェニルを用いた発光において、添加物を加えたときの発光強度の 変化について調べる。

#### 原理

- 1)シュウ酸ビス(2,4,6トリクロロフェニル)が過酸化水素水によって酸化状態になる。
- 2)酸化状態になったシュウ酸ビスはペルオキソシュウ酸(環状酸化物)になる。
- 3) 生成した環状酸化物は励起状態にあるので速やかに蛍光体(ローダミンB)を基底状態から励 起状態へと変化させる。このとき環状酸化物は二酸化炭素へ変化する。
- 4) エネルギーを得た蛍光体は励起状態なので基底状態に戻ろうとする
- 5) 蛍光体が戻るときにエネルギーを放出して光として観察することができる。

![](_page_45_Figure_16.jpeg)

## 研究方法

- 1) シュウ酸ビス 450mg, アントラセン 100mg をフタル酸ジメチル 100mL に溶かす。この混合溶液 を A とする。
- 2) サリチル酸ナトリウム 20mg を過酸化水素水 5mL, フタル酸ジメチル 80mL, 2 ブチル 2 プロパノ ール 20mL に溶かす。この混合溶液を B とする。
- 3) 混合溶液 A, Bをあらかじめローダミン Bを入れておいた試験管に 0.5mL ずつ入れ暗箱に移す。
- 4) 暗箱の中の試験管をカメラ (Canon KissX2) で撮影する
- 5) 撮った画像を画像処理ソフト「マカリ」を用いて発光強度を解析する
- 6) 添加物を加えた時と比較し発光強度の違いを分析する。

#### 研究結果

 1) 目薬を添加していない場合 の発光

※発光強度は発光している溶液を 写真で撮影し、そのRBG値から 算出した光の強さである。

①発光強度の平均は 167.3 であった。

- ②発光しているときの色はオレ ンジ色に近い色だった。
- ③発光しているときの熱は発生していな い事から冷光だとわかる。

④発光が続く時間は約1分であった。

⑤液体を混ぜるとすぐに反応が始まった。

![](_page_46_Figure_15.jpeg)

図1 添加物を加えていない場合の発光強度の強さ

![](_page_46_Picture_17.jpeg)

図2 添加物を加えていない場合の発光の様子

2) 目薬を添加した場合

①発光強度の平均は205.2 であった

- ②発光しているときは薄いオレンジ 色であった。
- ③目薬を添加した場合添加していないものに比べて平均で発光強度が66上昇した。
- ④目薬を添加していないものに比べて発 光している時間が短かった。

⑤液体を混ぜるとすぐに反応が始まった。

![](_page_47_Figure_6.jpeg)

発光強度

図3 目薬を加えた場合の発光強度の強さ

![](_page_47_Picture_9.jpeg)

図4 添加物を加えた場合の発光の様子

#### 考察

1) 目薬を加えなかった時のデータの散らばりが出てしまったのは、今回の実験は気温が反応速度 に影響を与える実験だったので、室温に差があったために出てしまったものと考えられる。

個

数

2) 目薬を加えたことで発光強度が上昇したのは目薬の中に入っている成分のうちに反応の触媒に なる成分が入っていて発光強度が上昇したのではないかと考える。

3) 発光した時に色の変化が出たのは発光強度が上昇したため光のスペクトルが変化したものでは ないか。

4) 製品のケミカルライトと主要な成分は変わらないのに発光の時間が違うのは、製品は粘度の高い液体のため全てが同時に反応しないので発光時間が長引いたのではないか。

#### 結論

目薬を加えた結果,何も加えていないものに比べて発光強度が上昇した。また,発光スペクトル も変化した。また,ローダミンBを多量に加えたときの光の色は通常量のときとあまり変わらなか ったが,少量のときは通常量のときに比べ色が薄く白色の強い光だった。

#### 今後の課題

1)変えるべき条件以外を一定にして発光強度を上昇させる物質を探す。

2) 目薬に入っている成分を特定し仮説が正しいかどうか吟味する。

#### 参考文献

シュウ酸エステルを用いた発光反応の研究 茨城県立緑岡高等学校科学部 化学発光の実験でのライトスティックの利用 大場茂・向井知大 出前セミナー用マイクロスケール発光教材の開発と実施 大野佳代子・平靖子

# 水流が与えるケミカルガーデンの成長角度

# The Growth Angle of a Chemical Garden which is Influenced by Currents

千葉県立船橋高等学校理数科3年 山﨑正悟

## Abstract

Chemical gardens grow in different forms. So I supposed that the current causes them to grow diagonally growing. The methods were that I made the current of solution in beaker by a magnetic stirrer. Next I made chemical gardens 1, 2, 3, 4 cm away from center stir bar in them. Finally I measured angles of chemical garden. The results were that the closest chemical gardens from the center stir bar didn't grow up at right angles. On the other hand, the most distant chemical gardens grew up at  $5^{\circ}$  - $25^{\circ}$ . In conclusion, the current influenced chemical gardens, but strong current caused chemical gardens not to grow.

## はじめに

ケミカルガーデンを作成することで対象物質の性質を把握することができる。例えば使 用する物質によってケミカルガーデンの色、形は異なる。しかし、同じ金属イオンが含ま れている物質同士では色や形が似ているものも多く、また、何故その形に成長するかは分 からない。そこで、他校が行ったものとして、「溶液の濃度」「溶液の種類」「溶液の温度」 によるケミカルガーデンの成長の違いをみる研究があった。本研究では水流の強さを変え てケミカルガーデンの成長の相違をみる。

## 目的

ケミカルガーデンは様々な形に成長するが、どのような原因で垂直または斜めに成長する のかといった形状に関する理由はよくわかっていない。本研究では、ケミカルガーデンが 水平面に対して垂直ではなく、斜めにも伸びていくことに焦点を合わせた。その一つの要 因として水流が影響していると仮定し、水流の強さを変えたときのケミカルガーデンの水 平面に対する角度に関係を見つけることを目的とする。

## ケミカルガーデンとは

- ・Na2SiO3 溶液(水ガラス)に固体金属塩の結晶を入れること で析出される樹状の結晶を指す。
- ・色は使用する固体金属塩に依存し、基本的にはとても脆い。
- ・形状も色と同様、使用する固体金属塩に依存するが、枝分

![](_page_48_Picture_14.jpeg)

かれする条件は未だよく分かっていない。

・前ページの写真は 塩化コバルト、硫酸銅(Ⅱ)、塩化鉄(Ⅲ)、 硫酸鉄(Ⅲ)、塩化マンガン、硫酸マンガン、硫酸ニッケルを それぞれ使用した時のケミカルガーデンである。

![](_page_49_Picture_2.jpeg)

ケミカルガーデンについて説明している本等によっては樹状の結晶ではなく、非晶質のシリカゲルと説明しているものもある。

シリカゲル(乾燥剤)

![](_page_49_Figure_5.jpeg)

## ケミカルガーデンの出来る仕組み

## 実験 I

・方法

- ①1.0 Lビーカーに比重 1.06 に調製した Na2SiO3 溶液(水ガラス) 200 mL と、長さ
   1.0 cm の攪拌子を入れる。
- ②マグネチックスターラーを用いて攪拌子を一定時間回転させ水流を作る。この際水温は、およそ 20℃にしておく。
- ③中央の攪拌子から 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 cm の位置に NiSO4・6H2O (硫酸ニッケル・六水 和物)の結晶を置き、ケミカルガーデン

を作る。

④形成後のケミカルガーデンの水平面に対 する角度を測る。

ケミカルガーデン ビーカーの底面 x°

## ・結果

236rpm

mg cm	1	2	3	4
10		$30^{\circ}$	$20^{\circ}$	$30^{\circ}$
10		$10^{\circ}$	$20^{\circ}$	$40^{\circ}$
20			$25^{\circ}$	$25^{\circ}$
20			$20^{\circ}$	$5^{\circ}$

922rpm

mg cm	1	2	3	4
10			$30^{\circ}$	$5^{\circ}$
10			5°以下	5°以下
20			$25^{\circ}$	$5^{\circ}$
20			$20^{\circ}$	$5^{\circ}$

データ値が無い箇所のケミカルガーデンは、伸びなかったもの、ビーカーの底に張り付いて伸びていったもの。 今回はビーカーの底に張り付いて伸びたものと、ビーカーに接することなく水平に近い状態で伸びたものとで区別した。

## 実験Ⅱ

・目的

他校の「水温が与えるケミカルガーデンの成長への影響」という先行研究を元に、水温 を変化させた時に水流が与えるケミカルガーデンへの影響を実験 I と比較し相違を見る。

・方法

水温を 40℃に保ち、実験 I と同様に測定を行う。

・結果

236rpm

mg	1	2	3	4
10		$50^{\circ}$	$25^{\circ}$	$20^{\circ}$
10			$30^{\circ}$	$10^{\circ}$
20			$50^{\circ}$	$15^{\circ}$
20		$55^{\circ}$	$30^{\circ}$	$15^{\circ}$

922rpm

mg cm	1	2	3	4
10			$25^{\circ}$	$10^{\circ}$
10			$20^{\circ}$	$15^{\circ}$
20			$20^{\circ}$	$0^{\circ}$
20		-	$25^{\circ}$	$10^{\circ}$

#### 考察

実験 I

- ・NiSO4・6H2Oの質量が小さい方がより傾いていない事から水流の影響をより受けないと 考えられる。
- ・922rpm の結果から、ケミカルガーデンがより傾いたのは水流の一番弱い中心から4 cm 所であった。236rpm の結果で4 cm の所が一番傾かなかったのは、水流が弱すぎたため だと考えられる。

#### 実験Ⅱ

 ・実験Ⅰと実験Ⅱを比較して、実験Ⅱのケミカルガーデンの方が角度の値が大きい。これ は水温の高い方がケミカルガーデンの成長スピードが速いため、水流による影響を受け にくかったと考えられる。

#### 結論

- ・水流はケミカルガーデンの成長に影響を及ぼし、水流がある強さになるとケミカルガー デンは0°に近い角度まで傾くようになる。
- ・水温を上げると水流の影響を緩和させることができる。

#### 参考文献

- ・植木厚(1987)「教師と学生のための科学実験」 日本化学会編 東京化学同人
- ・「ケミカルガーデン」 岩手県立水沢高等学校
- http://www.ichinoseki.ac.jp/che/sosei/hei26/hei26-10.html

## 反省・感想・展望

- ・ケミカルガーデンはとても脆く、データをとる前にケミカルガーデンを壊してしまった 時もあったので、それを考慮した実験方法を見つけたい。
- ・水流の強さを数値化できていないので数値化させる。
- ・今回はNiSO4・6H2Oでしかケミカルガーデンを作れなかったので、それ以外の固体金属 塩で同様の実験を行い、今回の結果と比較する。

<sup>(</sup>一関工業高等専門学校 物質化学工学科 創成化学工学実験 ケミカルガーデン)

# ゼラチンをエタノールに浸けたときの直径、硬さ、質量の変化

The Change of Shape, Hardness, and Mass of Gelatin Soaked in Ethanol

千葉県立船橋高等学校理数科3年 佐藤 あみ 中野 遥

#### Abstract

The purpose of this research is to find the way to control the hardness of gelatin gel. For this purpose, we soaked gel in ethanol of various concentrations. We conducted three experiments. In experiment A, we researched the difference between gel which is soaked in ethanol and gel which is not soaked, from the viewpoints of its diameter, hardness, and weight. In experiment B, we researched the chemical composition of gel after it is soaked in ethanol. In experiment C, we researched how much water and ethanol went in and out of gel every day. From experiment A, we found that gel soaked in under 40% ethanol becomes bigger, softer, and heavier than before. On the other hand, gel soaked in over 40% ethanol becomes smaller, harder, and lighter than before. From experiment B, we found that if we soak gel in ethanol of higher concentration, more ethanol get in gel. From experiment C, we found that gel which has been soaked over three days doesn't change very much. In conclusion, it is found that if we want to make gel harder, we should soak gel in over 40% ethanol. On the other hand, if we want to make gel softer, we should soak gel in under 40% ethanol for three days. Accordingly, we understood that this phenomenon is caused by ethanol and water getting in and out of gel.

#### はじめに

この研究テーマを設定したきっかけは、グミを酒に浸けるとプルプルになる、という情報を見つけた ことだ。なぜこのような現象が起きているのか疑問を持ち、研究を始めた。グミと酒は複合的なもの なので、それぞれの主成分であるゼラチンとエタノールを研究の題材とした。

#### 研究目的

この研究の目的は、ゼラチンを様々な濃度のエタノール水溶液に浸けることで、色々な硬さのゼラチンを作り、硬さをコントロールする方法を見つけることだ。つまり、ゼラチンを好みの硬さに変える 方法を見つけることがこの研究の目的である。そのためにまず、ゼラチンをエタノールに浸けたときの変化を、直径、硬さ、質量、の3つの観点から見た。

#### 使用器具

装置:アルミ棒(直径 12mm)、発泡スチロール、スタンド、2L ペットボトル、 アルコール濃度計、フラスコ、ガスバーナー、マッチ、温度計、ガラス棒、ビーカー、紙コップ

#### 使用試薬

ゼラチン、エタノール、イオン交換水

#### 研究方法

#### 【共通】

1:10%濃度ゼラチンゲルを作る。紙コップを利用して形を統一した。

2:ゼラチンゲルをエタノール溶液に浸ける。

①エタノールとイオン交換水を、溶液の質量が 100g になるようにして、それぞれ質量パーセント濃度を合わせて混合する。

②ゼラチンゲルを丁寧に紙コップからはずし、ゲルの質量、直径を測る。
 ③ビーカー1つにつきゲル1個を入れ、3日間冷蔵庫に置く。
 3:装置を作る。
 スタンド、アルミ棒、発泡スチロール、
 段ボールを右図のように組み立てる。
 ペットボトルは発泡スチロールの上に乗せる。
 ゼラチンゲルはアルミ棒の下に置く。

![](_page_53_Figure_1.jpeg)

【実験 A】エタノール濃度を変えたときの、ゲルの直径、硬さ、質量の変化を調べる。

①ビーカーからゲルを取出し、ノギスで直径を測る。直径は、円錐台形の一番直径の大きい箇所と小 さい箇所を測り、平均をとった。

②表面の水分を充分に切ったのち、電子天秤で質量を測定する。

③作成した装置にゲルをセットする。ペットボトルには初めは 50mL ずつ、アルミ棒がゲルに 5mm 沈 んだら 10mL ずつ 10 秒ごとに水を入れる。アルミ棒がゲルに 10mm 沈むまでに必要な圧力を測定す る。

【実験 B】浸けた後のゼラチンの組成を調べる。

①浸けた後のゼラチンゲルの質量を測る。

②測定後のゼラチンゲルをフラスコにいれる。その時イオン交換水を 5mL と沸騰石をいれる。

③蒸留を行う。フラスコ内の温度が80℃を超えたら加熱をやめる。

④ゲルに含まれていたエタノールの質量を測定する。

⑤測定した値から、浸けた後のゼラチンゲルに含まれていた水の質量を計算する。

【実験C】一日当たりの、ゲルへの水とエタノールの出入量を調べる。

①ゼラチンゲルをエタノール溶液に浸ける前に、浸ける前のエタノール溶液の質量、体積を測る。
 ②一日ごとに溶液の質量、体積、エタノール濃度を測る。

![](_page_53_Figure_14.jpeg)

![](_page_53_Figure_15.jpeg)

1081g/cm<sup>2</sup>は何にも浸けていないゼラチンの値である。

![](_page_54_Figure_0.jpeg)

硬さは 40%の溶液に浸けたとき、質量と直径は 40%~50%の溶液に浸けたとき、浸ける前のゼラチ ンゲルに近い値を示した。

![](_page_54_Figure_2.jpeg)

↑実験Aの結果から変化率を求めた。

![](_page_55_Figure_0.jpeg)

![](_page_55_Figure_1.jpeg)

![](_page_55_Figure_2.jpeg)

![](_page_55_Figure_3.jpeg)

![](_page_56_Figure_0.jpeg)

#### 考察

水とエタノールの出入りは、浸透圧に似た現象によるものである。

実験Aより、浸けた後の変化が無くなるポイントは40%の溶液に浸けた時である。

実験 B で、低い濃度のエタノールに浸けると、エタノールによる脱水よりも水の吸収の方が多く起こる。また、高い濃度になると脱水の方が多く起こっていると考えられる。

実験 C から、3 日経過すると変化はおさまると言える。4 日目に 70%のものが変化するのは、10%や 40%のものと比べて、1 日ごとの周りの溶液のエタノール濃度が大きく変化するからだと思われる。

#### 結論

ゼラチンを硬くしたいときはエタノール濃度 40%以上、軟らかくしたいときは 40%以下に 3 日間浸 けると良いことが分かった。この現象はエタノールや水がゲルを出入りすることで起こる。

#### 反省・感想

この研究で苦労したことは、硬さの測定方法を考えることと、実験結果の考察である。まず、ゼラチ ンゲルの硬さを定量的に測るための装置を作るのにとても時間がかかった。また、数値が安定しなか ったり、装置自体が不安定だったり、と問題がいくつかあった。だが、何が問題なのか考えながら改 良を加えていき、最終的には数値も大きくバラつかず、測定することができた。また、実験の考察で は、分子レベルで起こっていることを、数値や今持っている知識から推測しなければならなかったの でとても大変だった。最後には結論が出たので良かったと思う。今後実験を続けるのなら、実験 B と 実験 C のデータ量を増やし、より信憑性のあるデータにしたい。(佐藤)

研究を進めていく中で、データから考察を導き出すのに苦労した。そのことより研究の発展が見え ず、研究の停滞期があったのは勿体なかったと思っている。データの整理において、データのばらつ きが多く、データとして扱えるものかどうか判断するのは難しかった。回数を重ねるごとに安定して きたのは良かった。また、実験 B と実験 C のデータ量が少なく、すべてのデータをとり終わっていな いので、実験を続けるならばこの 2 つのデータをとりたいと思う。(中野)

# イカ墨のムコ多糖ペプチド複合体の分解による粘度の低下とインク利用

Decrease of Viscosity by the Decomposition of Mucopolysaccharide Peptide Complexes in Squid Ink to Use It as Ink 千葉県立船橋高等学校 3年理数科 モハンメド タラプダル ジュナク

## Abstract

This study's purpose is to lower squid ink's viscosity to use it as ink. Squid ink has high viscosity. So, that prevents squid ink from being used as ink. In experiments, I mixed reagent aqueous solution in bottle in which squid ink is. When I mixed NaOH aqueous solution with squid ink and when I mixed pure water with squid ink, viscosity of these liquids didn't change. When I mixed HCl aqueous solution with squid ink, a black precipitation was formed on the bottom, supernatant liquid was clear. When I mixed  $\alpha$ -amylase aqueous solution with squid ink, viscosity of the liquid decreased. From these experiments, I understand that viscosity of squid ink decreases when  $\alpha$ -amylase is mixed with squid ink.

#### はじめに

イカスミスパゲッティで知られるイカ墨だが、実はそのほとんどがそのまま使われることも加工さ れて使われることもなく捨てられているのをご存じだろうか。この研究は、そのイカ墨をインクとし て利用するために、インク利用を妨げている原因の一つであるイカ墨の高い動粘度を下げるためのも のである。

イカ墨はイカの墨袋という器官に含まれる特有の臭いをもった黒い液体で、イカが敵に襲われた時 に自分と似た分身として、敵を錯乱させるために吐くものだと考えられている。そのため、水中であ る程度の時間その場にとどまる必要があるのでイカ墨は動粘度が高い。イカ墨に含まれる色素のほぼ 全ては真性メラニンであり、イカ墨の動粘度が高い主な原因はイカ墨中のムコ多糖ペプチド複合体と いう高分子である。また、メラニンはムコ多糖の末端に結合している。

ムコ多糖ペプチド複合体とは、二糖類が結合してできた多糖直鎖であるムコ多糖のペプチド複合体 になったもので、分子量がとても高い。一般に、高分子の水溶液は粘度が高くなる傾向にあり、その ためイカ墨は動粘度が高い。

#### 研究目的

動粘度が高くペン先を通らないイカ墨を、分解して粘度を下げることで動粘度を下げ、黒いインク として使えるものにする。

#### 方針

方針①:ムコ多糖ペプチド複合体のペプチド結合を酸・塩基を用いて分解する。 方針②:ムコ多糖の糖と糖の間の結合をα-アミラーゼを用いて分解する。

#### 方法

蓋つきのガラス瓶にイカ墨水溶液を 40 mL 入れ、そこに試薬 10 mL を加えて蓋を閉め、 35 ℃ に保たれたインキュベーターの中に入れておいた。

粘度測定は試薬を入れる前、試薬を入れた後、インキュベーターにいれた 2 週間後に行い、振動

式粘度計 VM-10A を使用した。

なお、データの値は、同じ実験を 3 回行った平均値であり、単位は mPa・s である。 参考として、市販のインク(青)の粘度は 1.21mPa・s,純水の粘度は 0.89mPa・s である。

## 実験 I

この実験では方針①に基づいて実験を行った。

使用した各試料と濃度は、イカスミ水溶液は 10%、酸として 6 mol/L 塩酸、塩基として 6 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液である。

## 実験Ⅱ

この実験では方針②に基づいて実験を行った。

使用した各試料の濃度は、イカ墨水溶液は 10%と 50%、α - アミラーゼ水溶液は 0.1 g/L である。

![](_page_58_Figure_8.jpeg)

## 結果Ⅱ

50 % のイカ墨水溶液は試薬を加える前後の 粘度がオーバーフローしていた ( 300 mPa・s 以上 )。

2週間後、どちらも粘度が下がった。

![](_page_58_Figure_12.jpeg)

イカ墨10%

加える前 | 加えた後 | 2週間後

1.98

1.17

17.9

2.01

イカ墨50% Over flow Over flow

## 考察

《酸》

酸がムコ多糖ペプチド複合体と結合し沈殿したと思われる。 なお、酢酸や硫酸を用いた場合でも似た結果が得られた。 《塩基》

水酸化ナトリウムとイカ墨は反応しないと思われる。

なお、水酸化カリウム水溶液を用いた場合でも似た結果が得 られた。

《α - アミラーゼ》

ムコ多糖の一部の例を図示するために、ムコ多糖中に含まれる二糖類の一つであるコンドロイチン が、コンドロイチンと結合している状態の図を用意した(下図)。

α - アミラーゼがムコ多糖の糖と糖の間の結合を分解し, イカ墨水溶液の粘度が下がったと考えられる。

![](_page_59_Figure_8.jpeg)

#### 結論

酸と塩基はイカ墨の粘度を下げるのに有効でない。 α - アミラーゼはイカ墨の粘度を下げるのに有効である。

α-アミラーゼを用いた実験で得られた 2 つの濃度の液体を、万年筆のインクカートリッジに入れ て文字を書いたところ、10 % のものは字が薄く、インク利用には適していないと判断した。 50% のものは字が濃く、にじむこともなかったので、10 % のものよりもインク利用に適していると判断 した。しかし、市販のインクの粘度に比べ、50 % のイカスミ水溶液を処理した液体の粘度がかなり 高いためか、比較的インクの出が悪かった。前述したすべての実験において、得られた液体にはイカ スミのにおいが残っていたが、α-アミラーゼを用いた実験で得られた 2 つの濃度の液体をインクカ ートリッジに入れた後、万年筆からはにおいが感じられなかった。書いた文字からもにおいはしなか ったが、これはインクと外気の触れる面積が小さく、においが分散しにくいからだと考えた。下の写 真は 50 % のものを使って文字を書いた時のものである。

いかすみ イカスミ 烏賊墨 SQUID INK Squid Ink Squid Brok 魷魚墨 鱿鱼墨

![](_page_59_Picture_13.jpeg)

塩酸をイカスミに加えた 2 週間 後に濾紙を使って分離したもの

### 今後の課題

今後の課題としては以下の三点が挙げられる

- ◆ α アミラーゼ水溶液を加えて処理した 50 % イカスミ水溶液の粘度をさらに下げ、市販のインクの粘度に近づける。
- ◆ α アミラーゼ水溶液を加えて処理した 50 % イカスミ水溶液、または 50 % イカスミ水溶液 からにおい成分を除去、または分解する。
- ◆ 処理に用いた試薬が、処理後に、処理した溶液に影響を及ぼさないために、除去、または分解 する。

いずれの三点も、新たな処理を加える必要がある。

## 参考文献

Japan Food Research Laboratories (2009) 「ムコ多糖について」 www.jfrl.or.jp/jfrlnews/files/news\_vol3\_no4.pdf

## 反省・感想

先輩の先行研究を受け継いだが、データ数が増え、結果の信頼性が増したことを除き、特に研究に 大きな進捗がなかった。情報収集も少し詰めが甘かったと感じている。実験については、測定の精度 が実験の回数を重ねるごとに上がっていったと感じている。

## 酸化チタン(IV)の光触媒反応の可視光応答化 ~ゾルゲル法による金属ドーピングを用いて~

To be Able to Response to Visible Light in the Photocatalyc Reaction of Titanium Oxide

 $\sim$ By using Metal Doping in Sol-Gel method $\sim$ 

千葉県立船橋高等学校理数科3年

西澤 輝

<u>Abstract</u> Titanium oxide(IV) does not be active when a light except UV hit it. So I tried to make titanium oxide(IV) active when visible light hit it by metal doping in the Sol-Gel method. I mixed ethanol, titanium isopropoxide, and  $H_2$  O.I leave out it during a day. I doped titanium oxide(IV) by soaking the thing which I mixed in iron chloride(III). I mixed titanium oxide powder and methylene blue solution and evaluated an ability of resolution. Doped titanium oxide's ability was 49.6% higher than undoped titanium oxide(IV)'s ability. According to this result, titanium oxide(IV) could be active to visible light by metal doping.

## はじめに

酸化チタン(IV)には光触媒という性質がある。その性質の一つに紫外線が当たることで有機物を分解するという能力がある。酸化チタン(IV)が光触媒反応を起こすには紫外線などの強い光が当たる必要がある。紫外線は生活の中で約3%しか含まれていないため、生活の中で光触媒を利用するには非常に効率が悪い。そこで私は酸化チタン(IV)のバンドギャップに注目した。バンドギャップとは金属が光触媒反応を起こすために必要なエネルギー量のことである。酸化チタン(IV)に金属ドーピングをすることで酸化チタン(IV)のバンドギャップを小さくし、可視光にも光触媒活性を示すことができるのではないかと考えこの研究に及んだ。

## 研究目的

酸化チタン(IV)に金属ドーピングをすることで酸化チタン(IV)のバンドギャップを小さくし、可視 光にも光触媒活性を示すことができるようにする。

## 研究方法

- 1.ゾルゲル法を用いた酸化チタン粉末の作成
  - (1)エタノール 40mL にテトライソプロピルオルトチタネート(TTIP)5mL を加え 5 分間撹拌する。 撹拌にはマグチックスターラーを用いる。
  - (2)(1)の溶液にイオン交換水 0.36mL と 1mol/L の塩酸 0.42mL の混合液を加え 10 分間撹拌する。 (3)(2)で出来上がった溶液を容器に移し1日放置する。1日後溶液は流動性を失いゲル化する。ド
  - ーピングする場合は出来上がったゲルを 0.18mol/L の塩化鉄(Ⅲ)水溶液に 3 日間浸ける。
  - (4)出来上がったゲルを、電子炉を使い 75℃で粒径約 1~2mm の粉末が出るまで熱する。
  - (5)出来上がった粉末を乳鉢ですり潰し、メチレンブルー液と鉄(Ⅲ)イオンが反応し錯体を形成する のを防ぐためにイオン交換水と混合し濾過する。
- 2.酸化チタン粉末の分解力の評価
  - (1)1 で作成した酸化チタン粉末 0.5 g と 1.0×10<sup>-4</sup>mol/L のメチレンブルー液 15mL を混合し、紫 外線として UV−A ブラックライト(波長: 365nm)と可視光として LED ライト(波長: 450~ 550nm)をそれぞれ 30 分間照射した。
  - (2)(1)後の溶液を分光光度計にかけ、光のスペクトラムとそのピーク値を計測した。
  - (3)計測したピーク値から分解率を計算した。計算式は以下の式を用いて計算した。

<u>分解率=100-(分解後のピーク値/分解前のピーク値)×100</u>

## 鉄(III) ドープによる TiO2 について

身近にある金属の中でチタン(IV)イオンにイオン半径の値が近い鉄(III)イオンをドープしようと考 えた。TiO<sub>2</sub> に鉄をドープしたところ TiO<sub>2</sub> ゲルおよび粉末の色が白色(図1)から黄色(図2)へと変化 した。この変化は変色後の色が鉄(III)イオンの色と一致していることから、TiO<sub>2</sub> 粉末に鉄(III)イオ ンをドープすることができたと考えられる。

![](_page_62_Picture_2.jpeg)

図1 ドープ前 TiO<sub>2</sub> 粉末

![](_page_62_Picture_4.jpeg)

![](_page_62_Picture_5.jpeg)

## 研究結果

結果は以下のようになった。またそれをグラフに表した。

酸化チタン(IV)のブラックライトに対する分解率

8.37% → 7.14% ∴分解率→-1.23%
 ドープ後

#### 酸化チタンの LED ライトに対する分解率のグラフ

![](_page_63_Figure_6.jpeg)

## 考察

- ・金属ドーピング後の酸化チタン粉末は金属ドーピング前の酸化チタン粉末に比べて可視光に対する 分解率が高くなった。つまり酸化チタンに金属ドーピングをすることで可視光に対する活性が約4 倍強まった。
- ・金属ドーピング後の酸化チタン粉末は金属ドーピング前の酸化チタン粉末に比べてブラックライト に対する分解率はほとんど変わらなかった。

#### 結論

- ・酸化チタン粉末に金属ドーピングすることで可視光に対する活性が強まったことから、酸化チタン (IV)に金属ドーピングすることで酸化チタン(IV)のバンドギャップが小さくなったと考えられる。
- ・金属ドーピング後の酸化チタン粉末は金属ドーピング前の酸化チタン粉末に比べてブラックライト に対する分解率はほとんど変わらなかったことから、酸化チタン(IV)に金属ドーピングをしてもブ ラックライトに対する活性は変わらず、活性を示すことが出来る波長の範囲が広まったと考えられ る。

酸化チタン(IV)の LED ライトに対する分解率 15.58% \_\_\_\_\_ 64.18% ∴分解率→+48.60% ドープ後

## 今後の課題

- ・X線を使って酸化チタンゲルの構造解析をし、視覚的に酸化チタン(IV)の結晶構造内に金属がドー ピングされているかを確認する。
- ・今回ドーピングした酸化チタン粉末のバンドギャップを計測し、どのくらいまでの波長の光に活性 を示すことが可能なのかを調べる。
- ・鉄以外の他の金属をドーピングしてみて、最も酸化チタン(IV)の可視光に対する活性が高まる金属 を調べる。

## 参考文献

藤嶋 昭・渡部 敏也・橋本 和仁 著 2000 年 光触媒のしくみ (日本実業出版社)

- 大谷 文章 著 2003 年 イラスト図解 光触媒のしくみがわかる本 (技術評論社)
- 藤嶋 昭 著 2010 年 科学も感動から 光触媒を例にして (東京書籍)
- 伊藤 雅喜 著 2010年 水循環システムのしくみ (ナツメ社)
- 藤嶋 昭 著 2012 年 光触媒が未来を作る一環境・エネルギーをクリーンに (岩波書店)

千葉県立船橋高等学校 理数科課題研究 2016 年

# 納豆菌を用いた水質の浄化

The Water Purification Using Bacillus subtilis ver.natto

千葉県立船橋高等学校理数科3年 今村 歩夢

## Abstract

The  $\gamma$ - polyglutamate that *Bacillus subtilis ver.natto* produce have a water purification effect. Therefore, I carried out this study in order to examine whether they themselves there is a purifying effect of water quality. I have created a bioreactor with them. I was placed it into the water taken from the septic tank of the tank that breed guppy, after 30 minutes and after 1 hour I was measured water with a Pack Test. As a result ammonium they produced increased, nitric acid was reduced. Concentration of COD was increased, so I think they themselves don't have the water purification effect.

#### 研究目的

納豆菌が産生する γ-ポリグルタミン酸には水質浄化作用がある事が知られている。ここでは、納豆 菌自体に水質浄化作用があるのかを明らかにする。

ここでの浄化は y-ポリグルタミン酸の水質浄化作用の有無を COD の変化により見るものとする

## 予備実験

## 研究方法

- サブロー液体培地を用いて培養した納豆菌を1%アルギン酸ナトリウム水溶液に混合する。その後に10%塩化カルシウム水溶液に摘下して、バイオリアクターを作成する。
- 2. 平板希釈法によりバイオリアクター中の納豆菌数を算出する。
- 3. グッピーを飼育している水槽の浄化槽から水を採取する。
- 4. 採取した水にパックテスト(共立理化学研究所)を用いて COD、アンモニウムイオン、亜硝酸イオン、硝酸イオンの水質をそれぞれ測定する。
- 採取した水 200mL の中にバイオリアクターを入れる。
   (図 1., 写真 1)
- 6. 30 分後、1 時間後に再びパックテストを用いてそれぞれの水質の測定をする。

#### 図 1. バイオリアクターと図の模式図

![](_page_65_Figure_18.jpeg)

![](_page_65_Figure_19.jpeg)

写真1 実験の図

研究結果

![](_page_66_Picture_1.jpeg)

写真2 パックテストによる結果

表1 納豆菌のバイオリアクターによる水質の変化 単位:ppm

		アンモニウム	亜硝酸	硝酸	COD
	操作前	0.5~1	~0.02	45	10~13
	30 分後	5~10	0.02~0.05	20~45	100~
	1 時間後	10~	0.02~0.05	10~20	100~
~ `					

表 2 納豆菌のバイオリアクターによる水質の変化 単位:ppm

	アンモニウム	亜硝酸	硝酸	COD
操作前	0.5~1	~0.02	45~	4~5
30 分後	5~10	0.1~0.2	20~45	50 <b>~</b> 100
1 時間後	10~	0.2~0.5	10~20	100~

a~bというものは a と b の色を示したときの表示である。

考察

硝酸イオンの ppm の値が減り、アンモニウムイオンの値が増加した。 COD の値が予想に反して大きく増加した。 亜硝酸イオンは1回目と2回目で増え方の差が大きくあった。

この時点での考え

硝酸の増加との値は関連があると思われる

サブロー培地には有機物のペプトンとグルコースが入っている。

予備実験では液体培地ごと混ぜた為 COD の濃度が上昇したと考えられる。

#### 本実験

#### 実験方法

- サブロー液体培地を用いて培養した納豆菌を滅菌水で洗浄し、それを 1%アルギン酸ナトリ ウム水溶液に混合する。その後に 10%塩化カルシウム水溶液に摘下して、バイオリアクター を作成する。
- 2. 平板希釈法によりバイオリアクター中の納豆菌数を算出する。
- 3. グッピーを飼育している水槽の浄化槽から水を採取する。
- 4. 採取した水にパックテスト(共立理化学研究所)を用いて COD、アンモニウムイオン、亜硝酸 イオン、硝酸イオンの水質をそれぞれ測定する。
- 5. 予備実験と同様に採取した水 200mL の中にバイオリアクターを入れる。
- 6. 30 分後、1 時間後に再びパックテストを用いてそれぞれの水質の測定をする。
- 予想

先行実験のような浸透は起こらないと考える。

## 写真3 パックテストによる測定

![](_page_67_Picture_1.jpeg)

表3 納豆菌のバイオリアクターによる水質の変化 単位:ppm

	アンモニウム	亜硝酸	硝酸	COD
操作前	0.5~1	~0.02	45~	4~5
30 分後	5~10	0.02~0.1	20~45	10~50
1時間後	10~	0.2~0.5	10~20	50~100

COD の濃度は上昇したものの予備実験よりも変化の値が少なくなった アンモニウムイオンや亜硝酸イオンの濃度が上昇し、硝酸の濃度は低下した。

考察

アンモニウムイオンの濃度が上昇した為バイオリアクターが正常に機能している 予備実験も本実験でも共に COD の濃度が上昇した。しかしながら変化の幅が小さくなっている。 従って培地内の有機物の影響は少なくなったと考えられる。 また納豆菌自身には水質浄化作用が見られないと考えられる。

## 参考

写真4 使用したパックテスト

写真5 バイオリアクター

![](_page_67_Picture_10.jpeg)

## まとめ

バイオリアクターについては、予備実験や本実験共にアンモニウムイオンの濃度が上昇している事より正常に 機能していると考えられる。納豆菌自身にも水質浄化作用はあると思われたが、これらの実験の結果、納豆菌 自身には y -ポリグルタミン酸に見られるような COD の濃度を減少させるような水質浄化作用は 1 時間では見 られなかった。

## 参考文献

柿井一男他3名 「納豆菌の"ねばねば"パワーで排水処理」

http://www.chem.utsunomiya-u.ac.jp/lab/mizu/natto-index.html 株式会社ミツカングループ本社 「アンモニア低発生性納豆菌、該納豆菌を用いた納豆の製造方 法及び納豆」世界知的所有権機関国際事務局,国際公開番号 W02008/105432A1 (2008)

# ボルボックスが温度に対して示す走性

The Thermotaxis of Volvox

千葉県立船橋高等学校理数科3年 西沢奏

#### Abstract

Volvox is a photosynthetic phytoplankton and move with flagella. I examined what kind condition Volvox show positive taxis by placing it under various environments and would like to elucidate best condition for it to perform photosynthesis. In this study, when Volvox on three stages of temperature(5°C, 23°C, 40°C) condition, it moved into the lowest temperature of three. Therefore, it is appears that Volvox has positive taxis to low temperature.

## はじめに

基礎知識

ボルボックス

光合成を行う植物プランクトン。直径が1mm程の球形で、群体を形成している。体表を覆う体細胞の一つ一つに付いている 2本の鞭毛で、水を掻いて回転するように移動する。

#### ∘走性

生物が外部からの刺激に対して方向性のある反応をする性質の こと。刺激に向かって運動する性質を「正の走性」、刺激を避 ける性質を「負の走性」という。

![](_page_69_Picture_12.jpeg)

写真1 ボルボックス

#### 研究目的

ボルボックスが様々な温度に対して示す走性を調べ、ボルボックスの光合成に適した温度を探る。

#### 研究方法

·使用器具

実験装置(写真2)

コンテナ・ペットボトル (2L) ・ガラス管 (内径 5.91mm、外径 3.88mm)・シリコン粘土・ 500m1 ビーカーを用いた。

- ・毛細管ピペット
- ・照度計 (CUSTOM LX-1332D DIGITAL LUX METER)
- ・タイマー
- ・カメラ
- ・温度計

![](_page_70_Picture_0.jpeg)

## 写真2 実験装置

。実験方法

①低温(5℃)、常温(23℃)、高温(40℃)の3段階の温度の区画を作る。
 ②実験結果に光走性の影響が出ないよう、照度計で3つの区画の照度が等しいことを確認する。
 ③毛細管ピペットでガラス管にボルボックスを入れる。

④10分ごとに写真を撮り、区画ごとのガラス管内にいるボルボックスの個体数を調べる。

![](_page_70_Figure_5.jpeg)

図1 実験方法

![](_page_70_Picture_7.jpeg)

写真3 区画ごとのガラス管

![](_page_70_Picture_9.jpeg)

写真4 ガラス管中のボルボッ クス

## 研究結果

ボルボックスの温度区画ごとの個体数の変化(表1)を調べる実験を3回行い、得られた数値を 百分率に直し3回の平均を出した(表2)。

a:1回目

	0分	10分	20分	30分	40分	50分	60分
5℃	17	23	37	34	36	34	44
23°C	31	39	44	31	36	31	36
40°C	47	30	20	21	17	22	21
o:2回目							
	0分	10分	20分	30分	40分	50分	60分
5°C	66	94	91	75	44	79	112
23°C	95	66	57	69	60	43	62
40°C	129	84	126	110	111	100	100
c:3回目							
	0分	10分	20分	30分	40分	50分	60分
5°C	35	35	51	54	70	90	90
23°C	31	31	60	58	51	51	51
40°C	162	100	83	83	85	85	80

表2 ボルボックスの個体数の変化 B

単位:%

	2 1 1						
	0分	10分	20分	30分	40分	50分	60分
5°C	18.7	28.2	32.0	32.3	31.6	38.2	41.7
23°C	26.3	29.4	31.8	31.0	31.0	25.9	27.1
40℃	55.0	42.4	36.2	36.8	37.3	36.0	31.2

図2 ボルボックスの個体数の変化B

![](_page_71_Figure_9.jpeg)

低温区画では時間が経つにつれてボルボックスの個体数は増加し、高温区画では減少していった。常温区画では、実験開始時の個体数と最終的な値に目立った差は見られなかった(図2)。

表1 ボルボックスの個体数の変化 A
### 考察

高温区画の個体数が減少したので、高温区画にいたボルボックスは低温区画または常温区画に移動したと考えられる。だが 23℃の常温区画のボルボックスの個体数は実験開始時から終了時まで大きな変化が無かったのに対し、5℃の低温区画では増加傾向が見られたことから、ボルボックスは23℃より低い温度を好むのではないかと推察した。

### 結論

ボルボックスは常温より低い温度に対し正の走性を示す。

### 参考文献

JT 生命誌研究館(www.brh.co.jp)

- 坂口博信 「ボルボックスの走光性に関する研究」,大阪大学大学院博士論文(1980)
- 田村京子,林叔克,菅原研 「多細胞生物における複合刺激に対する応答~ボルボックスの走光性と 走電性~」,情報処理学会東北支部平成 20 年度第5回研究会(2008)
- 林叔克,鈴木由美子,菅原研 「ボルボックスの走性のカップリング」,日本物理学会講演概要集 62(2-2)(2007)

### 反省感想

とることが出来たデータ数が不充分で、もう少し実験回数を重ねる必要があった。実験方法についても発表会で指摘やアドバイスを多く頂きまだ改善の余地があったので、これからこのような研究をする機会があれば生かしていこうと思った。一回一回の実験とそのデータ処理にかかる時間が 長く、ボルボックスの植え継ぎも上手くいかないことがあり、大変だったことや苦労したことが多 かった。だが普段の生活で関わる機会があまりないボルボックスに沢山接することが出来て新しい 発見もたくさんあり、楽しみながら研究を行えたので良かった。

# チャコウラナメクジにストレスを与え続けた場合の学習能力

Learning Ability in the Case of Continued to Give Stress for the Threebands Gardenslug 千葉県立船橋高等学校理数科 3 年 古川未晴

### [Abstract]

Threebands Gardenslug take an action to withdraw their antennas when they are given Stimulation on it, but it is restored immediately. However, I had the question that when I continued giving stimulation after the slugs recover the action they continued acting to retract antennas, or it learned being attacked and turned the action of them wasn't recover. Therefore, I wanted to test that the Threebands Gardenslug have learning ability. So, I repeated an experiment that when the slug recovers the action, I give stimulation again for ten minutes. As a result, it took a lot of time to recover after the slug stimulated the eighth suffered. Afterwards, it took a lot of time when even the thirteenth stimulation was restored equally. Thus, I understood that a recovery action of the slug may be late periodically.

# 【はじめに】

一般的に、ナメクジは物事を記憶することができると言われているが、記憶していること から学習できるのかは研究されていないため、身の周りに最もよく見られるチャコウラナ メクジに学習能力があるのかを調べてみることにした。

先行実験として、無作為に選んだナメクジを容器に放し、ナメクジが集まりやすい場所を 調べた。その結果、角に集まりやすいことと、負の重力走性により上に集まりやすいこと がわかった。

そこで、ナメクジの大触角が出るたびにつつき続け、ナメクジがつつかれることを学習そ るのかを研究した。

※負の重力走性・・・重力に逆らって上に登ろうとする、ナメクジの生得的な行動。 ゾウリムシ、テントウムシなども負の重力走性を持つ。 ・大触角(視力は悪いが眼がついていて、
 障害物を避ける。)
 ・小触角(味、臭いを感じる。)

【研究目的】

身近な生物であるチャコウラナメクジにストレスを与え続けた場合、どのくらいの学習能 力があるのかを研究する。

※チャコウラナメクジとは

体長 5cm。体の前方背面が甲羅状になっており、甲羅には灰黒色の 2本のすじ模様があ る。背中の膜の下に甲羅を持つ。ヨーロッパからの外来種で、 家庭菜園や鉢植えの植物を摂食する農業害虫のため、 日本生態学会により日本の侵略的外来種ワースト 100 に選定 されている。全国の湿った土壌に非常に頻繁に見られる。 背中の甲羅は、カタツムリからナメクジに分化した時の名残。

【研究方法】

- ①バットの中央に、無作為に選んだチャコウラナメクジを1匹放し、10分間ナメクジの 大触角が出るたびに割り箸でつつき、その様子をビデオで撮影した。
- ②計 13 個体で実験し、ナメクジが大触角を引っ込めてから再び出すまでの時間を計測し、 学習したか調べた。

つつく回数に沿って大触角を出すまでの時間を見比べることで、ナメクジがつつかれる

ことを学習して大触角をだすこと をためらっているのか判断した。



### 【研究結果】

13個体の実験の結果、グラフに見られるような規則性が確認できた。



### 【考察】

個体差が大きくなってしまったが、平均値より穏やかではあるが周期性がみられた。 チャコウラナメクジはつつかれることを学習して、大触角を出すのを遅らせる「休憩」 をとるのではないか。

また、「休憩」のあと、再び大触角を出す時間が早まる回復行動を起こし、これが一定の 周期で行われているのではないかと考えた。

しかし、これが学習能力によっておこっていることではなく、これも負の重力走性のよう なナメクジの生得的な行動であるという可能性も考えられる。

幼体での実験や、チャコウラナメクジ以外の種類のナメクジを用いた実験もやってみるべ きだったと思う。

### 【結論】

チャコウラナメクジは、学習しても回復を繰り返し、その回復行動には周期性がみられる。

### 【参考文献】

https://ja.wikipedia.org/wiki/%E8%B5%B0%E6%80%A7 走性 http://wiki.jscpb.org/%E8%B5%B0%E6%80%A7 走性 http://www.flowers-beauty.com/010\_life/slug/slug\_10.htm ナメクジ http://dictionary.goo.ne.jp/leaf/jn2/128893/m0u/ 走性

### 【反省・感想】

テーマを決め、ナメクジを採取して実験を始めるのが遅くなってしまった。
また、個体を識別せずに実験を行っていて、時間を無駄にしてしまった。
他にも、間違ったグラフを用いてしまっていた。
今後続けるとしたら、実験時間を 10 分間から 20 分間に延ばしての実験や、つつく以外の
方法でストレスを与える実験、つつく道具を変えての実験の他、生まれた幼体を使って同じ遺伝子を持つナメクジでの実験もやってみたい。

# 金属イオンがエンバクの発芽に与える影響

The Influence of Metal Ions on the Germination of Oats

千葉県立船橋高等学校理数科3年 遠藤匠

### Abstract

The purpose of this study is to elucidate the influence of metal ions on the germination of plants. I used seeds of oats. I added sodium ion or potassium ion to them, using buffer solutions. First, I added buffer solutions to agar, and then put seeds on the agar. As a result, germination of oats was inhibited by intense metal ions. And the germination was more affected by potassium ion. Next, I soaked seeds in buffer solution and put them on agar. But in this way, I didn't find any differences between two ions. From this, seeds of oats need to connect with metal ions continuously to be affected by it. I am planning to examine the most aggressive concentration for the germination of oats.

### はじめに

植物の成長を促す成長促進剤が売られているのをよく目にする。そこで、植物の成長だけでなく、 発芽に影響を与える条件を考えた。成長促進剤には金属イオンが含まれることから、金属イオンが環 境ストレスとして植物の発芽にどのような影響があるのか調べた。

#### 研究目的

金属イオンを添加することにより、エンバク(Avena sativa)の発芽にどのような影響が出るのか 調べる。実験では、緩衝液を用いてナトリウムイオンとカリウムイオンの影響を調べた。

#### 研究方法・結果

〈方法 1〉

100mM ホウ酸ナトリウム緩衝液と 100mM ホウ酸カリウム緩衝液を寒天培地に添加し、その寒天上でエンバクの発芽状況を確認することにより、金属イオンが発芽に与える影響について調べる。(緩衝液の pH はともに 9.6)

\*ホウ酸ナトリウム緩衝液; B(OH)3, NaOH

ホウ酸カリウム緩衝液; B(OH)3, KOH

~実験~

2%寒天培地にそれぞれの緩衝液を、寒天:緩衝液の割合が 2:1、4:1 となるように混ぜた。それらを シャーレに入れて固めた。エンバクの種子を各緩衝液の各濃度それぞれ 100 粒ずつになるようにシャ ーレ上に播種し、暗黒状態の 25℃のインキュベーターに入れた。5日後、緩衝液の種類や濃度の違い による発芽数の違いを確認した。





 ・より多くの緩衝液を混ぜた培地では発芽が抑制された。特に高濃度のカリウムによる発芽の抑制が 顕著だった。

〈考察 1〉

方法1では緩衝液の影響で発芽が抑制された。しかしこれは、金属イオンの影響だけでなく pH や酸の種類も関係しているのだと考えられる。

〈方法2〉

新しい実験方法として、100mM リン酸ナトリウム緩衝液と 100mM リン酸カリウム緩衝液自体をエンバ クの種子に吸水させ、発芽状況を確認する実験を試みた。(緩衝液の pH はともに 7.0) \*リン酸ナトリウム緩衝液; Na<sub>2</sub> HPO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub> HPO<sub>4</sub>

リン酸カリウム緩衝液; K2 HPO4, KH2 PO4



~実験 I ~

水と二種類の緩衝液をそれぞれ 100mL ずつ用意した。エンバクの種子を水、各緩衝液に沈め吸水させた。2%寒天培地を用意し、その上に吸水させたエンバクを各 100 粒ずつになるように播種した。その後、暗黒状態の25℃に設定したインキュベーターに入れ、5日後のそれぞれの発芽数を調べた。 ~実験Ⅱ~

緩衝液を10分の1に希釈し、実験Iと同様の実験を行った。実験は2回行った。

~実験Ⅲ~

寒天培地の代わりに脱脂綿上で発芽させる実験を行った。脱脂綿1gが入ったプリンカップに水20mL を加えたものを培地とした。その他の条件は実験Iと同じ。実験は2回行った。

〈結果 2〉 ~実験 I ~

種子に吸水させた液体ごとの発芽率(%)







種子に吸水させた液体ごとの発芽率(%)



・実験 I と実験 IIの結果の間に矛盾が生じ、不確かなデータになってしまった。

・脱脂綿を用いても、発芽率が寒天培地と比べて大きく下がることはなかった。

〈考察 2〉

方法2では方法1と違い、金属イオンによる発芽への大きな影響が足りなかった。

・吸水時間が短すぎ、十分に周りの溶液を吸っていなかったのではないか。

・エンバクの種子に影響を与えるためには、継続的に種子と金属イオンが接している必要があるのではないか。

〈方法1~〉

これまでの考察を踏まえ、再び方法1で実験を行った。緩衝液は、100mM リン酸ナトリウム緩衝液と 100mM リン酸カリウム緩衝液を使い、水との比較実験を行った。(緩衝液の pH はともに 7.0) ~実験~

2%寒天培地に、水と二種類の緩衝液を、寒天:液体の割合が 2:1 となるように混ぜた。それらをプ リンカップに入れて固めた。エンバクの種子を各液体 200 粒ずつになるようにシャーレ上に播種し、 暗黒状態の 25℃のインキュベーターに入れた。5日後、混ぜた液体の種類による発芽数の違いを確認 した。



- ・緩衝液を添加した培地では発芽が抑制された。
- ・二種類の緩衝液の間には、大きな違いが確認できなかった。
   〈考察1<sup>´</sup>〉
- ・水との比較実験のため、結果には pH が関係していないことが分かった。しかし、リン酸が発芽に 影響したことも考えられるので、この結果は金属イオンによるものだけではない。
- ・方法 1 では種子はカリウムイオンにより大きな影響を受けた。これはナトリウムポンプのためだ と考えられる。しかし、方法 1 ~ ではその違いが見られなかった。

#### 結論

- ・ホウ酸ナトリウム、ホウ酸カリウム、リン酸ナトリウム、リン酸カリウムを添加した培地上では、 エンバクの種子の発芽は抑制された。
- ・吸水時に金属イオンを添加するだけでは、発芽に影響を与えることが出来なかった。

#### 今後の課題

- より詳しい濃度ごとの発芽率を調べる。また、金属イオンを添加する量を調整して、植物の発芽を 促進するような濃度を探す。
- ・他の価数の金属イオンについても調べる。(Mg など)
- ・金属イオンを2種類以上混ぜた場合の影響を調べる。

### 参考文献

- 「緩衝溶液(緩衝液)の調製方法」
   <a href="http://www.an.shimadzu.co">http://www.an.shimadzu.co</a>.jp/hplc/support/lib/lctalk/38/38lab.htm
- 「基本的な緩衝液の調整方法」
   http://www.dojindo.co.jp/technical/pdf/material8.pdf

### 反省・感想

この研究で最も苦労した点は、金属イオンを添加する方法を考えることでした。最初は硝酸鉄など を寒天に混ぜ込もうとしたのですが、pHが小さすぎて寒天が固まらなかったり、様々な条件を均一に そろえるのがとても難しく実験になりませんでした。しかし、緩衝液の存在を知り、それが自分の実 験に適していることに気が付きました。自分の実験で一番良かったことは、実験に緩衝液を使うこと を思いついたことだと思います。緩衝液を使ったおかげで、pHの調整ができ、比較実験をすることが 出来ました。ただ残念なことに、今回の実験ではエンバクに対して発芽を抑制することしかできなか ったので、より薄い濃度の溶液を使って発芽を促進する働きも探していくべきだったと思います。機 会があれば、発芽の促進を目的に金属イオンの添加実験を行ってみたいです。

# ワモンゴキブリの糞の状態とその集合フェロモンの働きの関係

The Relationship between Two Types of American Cockroaches' Excrement and the Effect of Their Aggregation Pheromone

> 千葉県立船橋高等学校理数科3年 岡崎洸太郎 野呂佳史

### Abstract

When we observed cockroaches, we found that there were two types of their excrement. One type was secreted on horizontal surfaces (lying excrement) and the other type was pasted on vertical surfaces (pasted excrement). We wanted to reveal the relationship between the two types of their excrement and the effect of their aggregation pheromone. We used American cockroaches (*Periplaneta americana*). We put two houses made of cardboard into a container. And we put each type of their excrement into each house. We put 20 cockroaches into the container. After 3 hours, we counted the cockroaches in each house. We found that pasted excrement had a strong tendency to gather American cockroaches than lying one. But it is not a significant difference. We will devise the way of this experiment.

# はじめに

観察を通して、ワモンゴキブリ、クロゴキブリなどが排泄する糞の状態は2種類あることを発見した。ゴキブリはなぜ糞の状態が2種類あるのか疑問に思ったが、先行研究はなかった。また、先行研究から、ゴキブリの糞には集合フェロモンが含まれることを知っていた。そこで、それぞれの状態の 糞における集合フェロモンの効力の違いについて研究した。

### 研究目的

ゴキブリの糞には、湿っていて流動性があり時間が経つと壁に張り付く状態(以下、「張」とす る。写真1)と、乾燥していて俵状の固形であり地面で転がる状態(以下、「転」とする。写真2)が ある。ゴキブリの糞に含まれる集合フェロモンは仲間のゴキブリを集める働きがある。2種類の糞に 含まれる集合フェロモンの効力に差があるのかを調べ、糞の状態が2種類ある理由を解明する。



写真1「張」の糞



実験の度に異なる 20 匹のワモンゴキブリ (*Periplaneta americana*)成虫を用いた。アース製薬 株式会社研究所がワモンゴキブリを提供してくださ った。

使用したゴキブリは幼虫も含めて同じ環境で飼育 し、餌はイースター社の「錦鯉用飼料 もみぢ」と むし社の「昆虫ゼリーS」を与えた。

写真3:実際に実験で使用したワモンゴキブリの成 虫



写真4:実験装置

縦 50:横 30:高さ 50(cm)のプラスチッ ク製衣装ケースを用意した。また、ゴキ ブリの隠れ家を段ボールで製作した。 隠れ家は、縦 20:横 10(cm)の段ボール 5 枚の長辺に割りばしを 2 本ずつ挟み込 む。計 8 本で4段になっているもの。実 験では毎回新しい隠れ家を2つ使用し、 それぞれをAとBとした。

「張」を2g入れたシャーレ、「転」を 2g入れたシャーレ、比較のため何も入 れないシャーレ(以下、「無」とする)を 用意した。A、Bにそれぞれ、それらのシ ャーレのうち1つを入れた。シャーレの 入ったA、Bを写真のように離して衣裳ケ ースの中に置いた。ワモンゴキブリ成虫 20 匹を衣裳ケース内に放し、ふたをして 暗所に置いた。3時間後、衣裳ケースを 取り出して開け、このときA、Bにいたゴ キブリの数をそれぞれ数え、記録した。

### 研究結果 表1:糞の組み合わせと、それぞれでのゴキブリの集まった割合

	A	В	A に集まったゴキブリ	Bに集まったゴキブリ	割合
1	転	無	456	304	12.0:8.0
2	張	無	368	330	10.5:9.5
3	転	張	332	463	8.4:11.6
4	無	無	258	235	10.5:9.5

(記録の際にシェルター内にいなかったゴキブリの数は少数だったため、この結果には含んでいない)

#### 表2:優位差の検証

	A	В	A に集まった ゴキブリ	B に集まった ゴキブリ	AB間でのカイ2乗検定の結果
1	転	無	456	304	1%未満
2	張	無	368	330	25%未満
3	転	張	332	463	1 %未満
4	無	無	258	235	40%未満

(カイニ乗検定は、偶然その結果となる確率を表している。)

### 考察

結果から、「張」の方が「転」よりもゴキブリを集める効果が高いという傾向がみられた。しか し、無同士の結果から有意差はみられなかった。これは、フェロモンが混ざってしまい、ゴキブリが フェロモンの存在を正確に認識できなかったことが原因であると考えられる。

### 結論

「張」の方が「転」よりも集合フェロモンの効力が高い傾向があったが、差は小さい。糞の状態が 2種類ある理由は解明に至らなかった。

### 今後の課題

今回は使用した衣装ケースと隠れ家に構造的な問題があったと判断したため、

- ・実験の空間に仕切りを作る。
- ・一度に使用する検体をより増やす。

これらのことが必要である

# 謝辞

アース製薬株式会社研究所に500匹のワモンゴキブリを提供していただいた。お礼申し上げる。

# 参考文献

・鈴木智之(2005)『ゴキブリだもん』 幻冬舎.

・「ゴキブリの駆除」 アース製薬

<http://www.earth - chem.co.jp/gaichu/gokiburi/>

### 感想

### 岡﨑洸太郎

今回の実験は、スタートダッシュが 10 月という非常に落ち着きの無いスケジュールでの進行だった ため、技術的にも内容的にも様々な部分が満足のいくものではなかったと考えている。本来ならばこ の結果を基に実験を行うべきところを、発表もろもろの都合上、ここで一旦打ち切ってしまったのは 口惜しい。だが、この実験は意味があったと考えており、この情報を含めて後輩へ更なる実験を譲っ た。また、自らもこの経験を糧とし、未だ疑問に思っていることへの探求を進めたい。今現在考えて いるのは「異なる種のゴキブリ同士の棲みわけ」についてである。

#### 野呂佳史

僕から後輩へのアドバイス。まずは、文献を見よう。僕がおすすめするのは最新版の子供向けの図鑑 だ(学研の図鑑、小学館の図鑑 neo 等)。子供向けの図鑑は理解するのに労力を要しないため、格式高 い論文よりも興味が湧きやすい。次に、身の回りの環境に多く存在するものを研究対象としよう。そ して、身近なものには意外と多くの謎がある。さらに、研究発表のときに、身近なものほど理解して もらえやすい。最後に、多くの大人に尋ね、助けを求めよう。これは高校生の特権だ。大人との交流 が社会勉強になるし、新たな視点、アドバイスがもらえるかもしれない。そして先行研究を知る、と いう点でも、その分野の最前線の人と話すことはとても大きな価値がある。

最後に僕の話をします。僕は2年間かけてさまざまなテーマの研究をしました。フナムシ、ワラジム シ、エンバク、クモ、ダンゴムシ、ギンメッキゴミグモ、ワモンゴキブリ…隠れ帯について研究を始 めようとしたそのときに、隠れ帯についての詳細な論文を出されました。ギンメッキゴミグモは個体 数が少ない上、適切な実験方法を考えることができませんでした。壁を乗り越えられず課題研究が中 途半端に終わってしまい、とても悔しかったです。ただ、課題研究の思い出はかけがえの無いもので す。研究がうまく進まず苦しい時期が続きました。でも、それぞれのテーマについて語ることができ るのはきっと僕の宝になると思います。多くの方にお世話になりました。感謝申し上げます。

# フタホシコオロギの歩行速度と関節角度

Moving Speed and Joint Angle of Cricket

千葉県立船橋高等学校理数科3年 羽鳥友基 富永成海

### Abstract

In order to reveal the differences between the usual-walk and the avoiding-walk of crickets, we observed them by focusing on moving pattern of legs and walking speed. First, we shot two crickets with a video camera or a smartphone . As a result of the shooting, we found that the walking speed was about 2.8 times faster than usual when the cricket was avoiding from the other . Besides, we found that the smallest angle and the largest angle of its hind legs were different between the usual-walk and the avoiding-walk. The former was 50° and 130°. The latter was40° and 110°. Considered this result, we concluded that crickets can avoid 2.8 times faster than usual speed by making the joint angle minimum and increasing the number of rotations of the legs.

### はじめに

私たちはあるサイトでコオロギの闘争行動に関する先行研究を見た。しかしながら、その研究ではコ オロギの闘争については調べられていたが、回避行動については調べられていなかった。そこで私た ちはコオロギが回避しているときの動きを歩行速度と後脚の角度に注目して通常時と比べ、どのよう な異なる動きをしているのか研究を行った。

### 研究目的

コオロギの通常時の動きと回避行動時の動きの違いを明らかにすることである。

### 研究方法

まず、研究を行うにあたって回避行動をさせなければ研究は行えない。そこで、効率的にコオロギに 回避行動をとらせる方法を下に記す。ただし、オスのコオロギを2匹用いるものとする。

 1個体ずつで飼育させる。これは、先行研究で、集団で飼育されたコオロギよりも一個体ずつで 飼育された個体のほうがより狂暴化することが先行研究でわかっていたからである。



- ② 任意で選んだ2匹のコオロギを小筆でつつき興奮させる。これも、先行研究から参考にしたコオロギを興奮させるための工夫である。
- ③ 興奮した2匹を同じフィールドに放して闘争させて、回避行動をとらせる。

### 実験1<走行速度の違いをみる>

(方法)

同個体の通常時と回避時の走行を撮影。その撮影した動画からコオロギの通常時の歩行速度(cm/s)の 平均と回避行動時の歩行速度(cm/s)の平均、倍率(回避時の歩行速度/通常時の歩行速度)をそれぞれ 測定する。

条件…オスの個体1匹または2匹を用いる。

機材名…SONY HDR-CX430V(ビデオカメラ)を用いた。

### 実験2<脛節と腿節の角度の違いをみる>

(方法)

まず、脛節と腿節の位置を下図に示す。



通常時と回避時の脚の動きを撮影する。動画解析ソフト kinovea を用いて、歩行中の節と腿節の角 度変化量を測定する。

条件… オスのコオロギを装置に放す。(通常時の動きを測定する時は1匹、回避行動時の動きを 測定する時は2匹とする。)

機材名… SONY HDR-CX430V(ビデオカメラ)を用いた。

実験装置…アクリル板を加工して装置を製作した。装置の幅はコオロギの歩行の撮影がしやすいよう に、コオロギが歩行するのに狭くもなく広くもない幅である8cmとした。

(注意)

脚の角度の撮影はたいへん難しい。コオロギの脚をカメラの真ん中にして撮影しなければならない し、コオロギの脚も床に垂直になっていないとデータが取れないので特に多くデータを取ると良い。



### 研究結果

実験1の結果



個体それぞれで、通常時、回避時の歩行速度ともに個体差があらわれたが、その倍率は驚くことにど れも近い値となった。



平均をとってみると通常時の速さが約 2.60 cm/s、回避行動時の速さが約 7.26 cm/s となった。しかし、一番重要なのはその倍率で約 2.81 倍という結果となった。

### 実験2の結果

・通常時(15個のデータから測定)
最小角度 50、最大角度 130°となった。
x(角度)は 50≤x≤130 の範囲で変わることがわかった。
・回避行動時(5個のデータから測定)
最小角度 40、最大角度 110°となった。
x(角度)は 40≤x≤110 の範囲で変わることがわかった。

#### 実験1の考察

異なる大きさのコオロギを用いても、どの個体も回避行動時の速さが通常時の速さの約 2.8 倍になった事から、回避行動時の速さは通常時の速さの約 2.8 倍に近い値になると考えられる。

#### 実験2の考察

通常時よりも回避行動時の方が脛節と腿節の角度の最小値・最大値共に小さい。そのことから、コ オロギは回避行動時に通常時よりも後脚を曲げて地面を蹴り、後脚が伸びきる前に次の一歩を踏むと 考えられる。

#### 結論

コオロギは回避行動をする時に、通常時よりもより後脚を曲げて地面を蹴る力を大きくし、後脚が 伸びきる前に次の一歩を踏むことで脚の回転数を多くしていると考えられる。したがって、回避行動 時の速さは通常時の約 2.8 倍速くなったと考えられる。

#### 反省、感想

まず言いたいのは、生物を用いた実験をすることは難しい。当たり前のことだが、私たちは生物を 意のままに操ることはできず、実験は生物に左右される。したがって、化学反応のように決まった結 果が得られるわけではなく、その時の生物のコンディションによって結果が変わってくる場合もあ る。このような理由で、得られたデータから共通性を見いだすのはかなり苦労した。しかし実験の回 数を重ねるにつれ、試行錯誤をしながら様々な観点からアプローチをするという事が出来てくるよう になってくると、たとえ結果が得られなくても充実したものになった。

### 参考文献

コオロギ社会適応行動の神経機構モデリング www.robot.t.u-tokyo.ac.jp/asamalab/publications/files/301.pdf

# 大豆以外の豆で納豆が作れるか

# 「納豆状態」を数値で表現する

## What Kinds of Beans Work to Make Natto Except for Soy Beans

千葉県立船橋高等学校理数科3年 黒須慎一朗 金子明里咲

The purpose of this experiment is to display "NATTO" condition by numerical value. We defined "NATTO" as what are changed into sticky condition by natto bacilli. We added natto bacilli taken from natto on the market into several beans and cultured them at  $30^{\circ}$ C. Four days after this incubation, we absorbed changes of them and compared their appearance with viscosity of stayed liquid. According to this, we found that there is no particular relationship between whether their appearances are closer to natto and whether they are more viscid or not. This experiment shows we couldn't display change of natto by numerical value. Next, we extracted  $\gamma$ -polyglutamic acid, which is main ingredient of the viscosity from cultured beans and measured their mass. We also observed changes of beans at the same time. We noticed that when the appearance is natto condition, the mass of  $\gamma$ -polyglutamic acid increase. As a result,  $\gamma$ -polyglutamic acid may indicate degree of natto condition.

# 1はじめに

納豆になったかどうかを漠然とした個人の感覚ではなく、何らかの科学的な数値で表 し比較するということが本研究の意義である。

### 2研究目的

糸がひけるほどの粘りがある状態を「納豆状態」になったと定義し大豆以外の豆に納 豆菌を加えて納豆と同じ状態を作り、納豆の状態を何らかの科学的な数値で表す。

### 3 実験

- 実験① 納豆菌を加え培養し残った液体の粘度を比較する
- (仮説) 豆の種類ごとに粘度が異なる

(方法)

- 1. 食用としての大豆・小豆・赤紅隠元豆・エンドウ豆を 10g・20g・30g に分け ビーカーに入れ一晩水に浸けた。
- 2. 豆をオートクレーブで滅菌した。
- 3. 市販の納豆(株式会社ミツカン 極小粒納豆)一粒を10mLの滅菌水に加えよく 振り、その納豆菌の入った溶液を2mLずつ各ビーカーに加えた。
- 4. 30℃のインキュベーターに入れ4日間放置した。
- 5. ビーカーの中にある豆の変化を観察した。また、培養液の粘性を粘度計(vm·10A) で測定した。

(結果)

それぞれの豆の質量が増えるにつれて粘度が大きくなった。 培養液の粘度に、豆の種類の違いによる顕著な差は見られなかった。





### (考察)

豆の種類と残った液体の粘度にはっきりとした違いが現れなかったことから、「納豆」 と呼ばれる状態になりやすいかどうかを、残った液体の粘度の比較で表すことができ なかったと考えられる。

- (実験②) 納豆菌を2種類の豆に加えて培養し、γポリグルタミン酸を抽出して質量を 比較する。
- (仮説) 他の豆と比べてタンパク質の含有量が多い大豆の方が γ ポリグルタミン酸の生成量が多くなる。

(方法)

- 1. 20gの大豆・花豆を実験①と同じ手法で3個用意し4日間放置した。
- 200mLビーカーに飽和炭酸ナトリウム水溶液 70mLを加えて湯銭鍋で 70℃に加熱した。
- 3. 大豆・花豆を2のビーカーに入れ、泡が出なくなるまで軽くかき混ぜた。
- 4. 吸引ろ過し、ろ液をビーカーに入れた。
- 5. クエン酸を加えながら、pH3~pH4にして撹拌した。
- 6. 塩化ナトリウムを加えて飽和させた。
- 7. 100mLのビーカーに、エタノール 30mL を取りガラス棒でかき混ぜながら、6 の液体を少しずつ加え抽出した y ポリグルタミン酸の質量を測定した。

### (結果)

平均した数値から大豆の方が y ポリグルタミン酸の質量(g)が大きい。

	1	2	3	平均(g)
大豆	2.36	2.50	2.71	2.52
花豆	1.15	1.11	0.89	1.05

### (考察)

この2種類の豆の結果より、タンパク質の含有量(大豆35.3g、花豆17.2g)の大きい豆の方が、「納豆」と呼ばれる状態に近づくと考えられる。だが、豆の種類が少なかったため今後は豆の種類を増やし検証する必要がある。

## 4結論

実験結果から納豆になったかどうかを培養液の粘度で表すことはできない。また豆の 種類を増やし、γポリグルタミン酸の質量で数値化できる事を明らかにしたい。

### 5 今後の課題

全体的にデータが少ないので実験回数を増やす。 グルタミン酸の取り出し方でもっと簡単な方法がないか調べる。 ほかの方法で数値化をする。

### 6 感想

実験器具の使い方や菌についてだけでなく、「科学的な数値化」をすることの大変さ、重要 さを学ぶことができた。ほとんど喋った事のない二人、周りよりも遅れてのスタート、と 不安要素もあったが結果を出して終えることができて良かった。

### 参考文献

「環境・材料の違いによる納豆のでき具合について」

千葉県立船橋高等学校 鈴木景子

「納豆のねばねばで水質浄化」

大阪府立大手前高等学校

# 空の青さと水蒸気量の関係

The Relationship between the Blueness of the Sky and the Amount of Water Vapor it contains

> 千葉県立船橋高等学校理数科3年 安達葉南 小髙美桜

### Abstract

We want to establish what a relationship between the blueness of the sky and the amount of water vapor content. First, we took a picture of clear sky with a fish-eye lens, found the blueness of the zenith using PC software (Makali' i and Stella Image7). Second, we took a picture of a far building (Sky Tree Tower) with a telephoto lens, found transparency from the contrast of the building and the background. The amount of water vapor in the sky is calculated from the data of the Meteorological Agency (Tsukuba). Then, there is a minus correlation, the lower the altitude is, the stronger the correlation is.

### はじめに

私たちは昨年、「青空の明るさと高度の関係」というテーマで研究をした。そこで、気象条件と青 さとの関係性も調べたかったが時間の関係でできなかったため今回研究しようと思った。

空が青い理由はレイリー散乱によるものである。レイリー散乱とは、短い波長の光が空気分子によって散乱されることである。

#### 研究目的

・空の青さと水蒸気量に関係性はあるのか。

・関係があるのならばどのような関係性があるのか。

### 研究方法

使用機材

・カメラ: Canon EOSKissX5

設定: ISO100 シャッター速度 1/320 絞り F=9.0

- ・魚眼レンズ:SIGMA4.5mm F=2.8
- ・望遠レンズ: Canon200mm F=2.8
- ・使用したソフト:ステライメージ7画像解析ソフト すばる画像処理ソフトマカリ
- ① 魚眼レンズで晴れた空の写真を撮る。
- ② 望遠レンズで遠くの建物(スカイツリー)の写真を撮る。場所:千葉県立船橋高校の屋上
  - 日時: 7/14, 21, 22, 23, 24, 27, 28, 29, 8/4, 6, 9/11, 12, 15, 16, 18, 19, 21, 23, 28, 29, 30 10/5, 6, 7, 8, 10, 13, 14, 15, 16, 19, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 11/4, 5, 6, 7, 24, 27, 28, 30, 12/1, 4, 7, 8, 14, 15, 16, 22, 24, 25, 28,
    - 11/4, 5, 6, 7, 24, 27, 26, 56, 12/1, 4, 7, 6, 14, 15, 16, 22, 24, 25, 2
    - 1/4, 5, 6, 7, 9, 13, 14, 15, 19, 20, 22, 25, 27
- ③ ①、②で撮影した写真の形式を、ステライメージ7を使って RAW 式から FITS 式に変換する。
   (RAW 式のままではマカリで計測できないため)
- ④ 変換した空の写真において、定義から天頂の青さを求め、上空の水蒸気量との関係を見る。
- ⑤ 変換したスカイツリーの写真において、定義から透明度を求め、地上の水蒸気量との関係を見 る。





②の写真(12月28日)





※上空の水蒸気量は気象庁のデータ(つくば)から、地上の水蒸気量は気象庁のデータ(千葉)から求める。

# 定義 (透明度) = (背景の輝度) / (スカイツリーの輝度) (青さ) = (Blue/Red) \* (Blue/Green) ※青さの定義は、千葉県立船橋高等学校 2013 年度生徒研究報告書「空の青さを定量的に表す」 より。

1.6 1.4

1.2

1 必。 0.6 逐

0.4

0.2

0

1

研究結果







相関係数-0.513

相関係数 0.688066

<sup>2</sup> 青さ

1.5



青さと透明度

2.5

3.5

3

相関係数-0.44303



相関係数-0.38199

### 考察

青さと透明度には、強い相関関係があるため、青さと透明度の値は確からしい。しかし、透明度と 地上の水蒸気量のグラフと、青さと上空の水蒸気量のグラフにはばらつきがある。これは、青さや透 明度には水蒸気量だけでなく空気分子やエアロゾルも関係しているにもかかわらずこれらの影響を考 慮しなかったためと考えられる。よって、空気分子やエアロゾルによる影響を考慮すれば、ばらつき はなくなると考えられる。

### 結論

- ・青さと水蒸気量には、ばらつきはあるが負の関係性がある。
- ・青さと透明度には、比例関係がある。
- ・透明度と水蒸気量には、ばらつきは大きいが負の相関関係がある。

#### 今後の課題

エアロゾルや空気分子を測定する手段を考え、その影響を考慮する。 青空だけでなく夕焼け空でも調べる。 対流圏の中の気象現象を調べる。

### 参考文献

気象庁 過去の気象データ検索(高層)

http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/upper/index.php?year=&month=&day=&hour=&view=&poi nt=47646

飽和水蒸気圧と水蒸気量の計算

http://www.es.ris.ac.jp/~nakagawa/met\_cal/satu\_vapor.html 千葉県立船橋高等学校 2013 年度生徒研究報告書「空の青さを定量的に表す」 斎藤文一(1995) 『空と色と光の図鑑』草思社

筆保弘徳・岩槻秀明・今井明子(2014)『気象の図鑑』技術評論社

### 反省・感想

失敗した点は、視程の小さい日に写真を撮ると太陽の光で飽和してしまい、使えないデータが増え てしまったこと。

良かった点は、青さと透明度の値が正しく出せたこと。

反省点は、大気構造や大気光学、デジタル画像等の知識が足りなかったこと。

また展望として、大気分子やエアロゾルの影響を考慮し、輝度と青さの関係性も出したい。

# エアロゾルと宇宙塵の観察

Observation of Aerosol and Cosmic dust

千葉県立船橋高等学校理数科3年

### はじめに

地表には、毎年数万トンの宇宙塵が宇宙から降り注いでいると言われている。大気中に浮遊してい る物質(エアロゾル)を採取し観察することで、実際に宇宙塵が飛来しているかを調べた。また同時に 採取した物質の定量も行った。

※宇宙塵…その多くが磁性物質を含む宇宙から降り注ぐ物質で、大気圏を通過するときに熱で溶け 球体になっているものが多い。

### 研究目的

大気中に浮遊している物質について観察と計量をし、宇宙塵を探す。

### 研究方法

- ① 水を入れた容器(41 cm×31 cm)を屋上に一週間置き、容器に落下した物質を採取する。
- ② 容器に溜まった液体をビーカーに回収する。
- ③ ろ過をして乾かした後シャーレに入れる。
- ④ 双眼実体顕微鏡を用いて採取した物質を観察する。
- ⑤ また、シャーレにネオジム磁石を近づけて磁性物質を取り出す。
- ⑥ 取り出した物質を双眼実体顕微鏡で観察する。
- ⑦ 採取したものを毎週計量してグラフにする。(10月~12月の9週間)

### 研究結果

毎週の採取量・割合のグラフ







- ・12月になるにつれて採取量が増えた。
- ・採取量に比べて、磁性物質の量はあまり変化がなかった。 →割合としては減った。
- ・磁性物質は採取物全体の約10分の1だった。

採取物の観察 採取したもの(40倍)







#### 磁性物質(100倍)



- ・採取した物質には、無色鉱物や有色 鉱物、磁性を持つ物質が見られた。
- ・採取したものの中にガラス質のような 透明な球体があった。大きさとしては 約 20 µm~40 µm。
- ・磁性物質には、校庭の砂にも含まれて いるような砂鉄が多くあった。
- ・磁性物質の色は、多くが黒色だったが時々 茶色のものも混ざっていた。

・磁性物質の中にはとても小さな金属球が

金属球(400倍)



↓拡大写真



見つかった。大きさは 5 µm~10 µmほど。磁性物質 0.05 g 中に平均 1~2.個ほどしか見つからなかった。

### 考察

- ・採取したものに多くの鉱物があったことから、大気中には地上から巻き上げられた風化した鉱物 等が多く存在している。
- ・透明な球体が見つかったが、工場の排ガスなどから大気中に出ていき、それが飛来してきた人工 的なものと考えられる。
- ・形のきれいな金属球が見つかったので、実際に宇宙から多くの物質が降り注いでいると言える。
- ・磁性物質の量の変化が小さかったことから、舞い上がっている磁性物質の量に日ごとの差はあまりないと言える。
- ・定量に関して、採取量にかなり差が出たが、天候を調べずその影響を考慮していなかったので考 察としては言い難い。天候があまり影響しないとすると季節風の影響などが考えられる。

### 結論

- ・エアロゾルには埃などのほかに非常に小さな鉱物やガラス質など様々な物質が含まれている。
- ・宇宙塵は地球に多く降り注いでいる。

### 今後の課題

- ・天候・季節によってどの程度採取量に変化があるのか。
- ・流星群の影響をどの程度受けるか。
- ・より効率の良い方法(特に磁性物質の選り分け)を考える。
- ・金属球や透明な球体の成分等を解析したい。

# 粒子・水混合体の音速測定

 $\sim$  Measuring sound's speed of the Mixture made by particle and water  $\sim$ 

千葉県立船橋高等学校理数科3年 北原 暖

### Abstract

I examined about the change of sound's speed of the mixture made by particle and water changing its composition. I used two microphones and a speaker to measure it. I measured the time which the sound used to pass through between two microphones.

I got data which was the sound's speed of the mixture made by particle and water (141.6m/s, 186.1m/s).

### 《はじめに》

粒子と水との混合体の音速を測定することで、そのデータを基とした音波による混合体の厚さ、含 有する水の値を測定することができる。

### 《研究目的》

砂などの粒子と水とでできる混合物の音速を測定する。

### 《研究方法》

音源から発生させた音が、設置した2個のマイクを通過した時間差からその2個のマイク間に満た した混合体の音速を測定する。



衝撃吸収材には二種類のラップメイトを使用した。プランターに三重になるように交互に貼りつけた。

プランターは深さ約 30cm、縦 80cm、横 30cm のものを使用した。 使用するソフト、FFTWave の画面上では次のように音波が測定される。 画像において、白線がそれぞれのマイクに音波が到達した時間を示している。

100	1	Channel-1			_			
80	1			i i i i i i i i i i i i i i i i i i i				
60								
00								
40	וי					$\wedge$		
20	ן נ					$\forall \land \neg \uparrow$		ſ
0	)		 	+				
-20					$\rightarrow \longrightarrow$	$\vdash \lor$	$\vdash \lor \rightarrow$	
-40					_			<u> </u>
-60								$ \longrightarrow $
-80	η,							
-100								×.
100	5	Channel-2						
100 80		Channel-2	Ê A					
100 80 60		Ohanne I -2						
100 80 60 40		Channel-2			Δ Δ			
100 80 60 40 20		Channel-2				M A A	. A	. A
100 80 60 40 20		Ohannel-2				M A A.	A	ΛΛ —
100 80 60 40 20 0		Ohannel -2				M.A.M		
100 80 60 20 0 -20		Ühannel-2				MAA	A A A A	
100 80 60 20 20 -20 -40		Ohannel-2						
100 80 60 20 20 -20 -40 -60		Ohannel-2				MA		
100 80 60 20 -20 -40 -60 -80		Ohannel-2				MM M		

### 《研究結果(予備実験)》

予備実験として、使用する器具の正確性を求めるために既に理論値がわかっている空気中、水中で の音速を測定した。比較のため、本実験にて使用する粒子のみでプランターを満たした場合の音速も 測定した。



理論値 1485(m/s) 理論値 331.5\*0.6t(m/s)

縦軸は音速(m/s)、横軸は試行回数を表している。

今回使用する粒子は空気や水と違い、一様ではない個体であるため、粒子と粒子との間に空気が含 まれる。よって周囲から振動を与えることで粒子間の空気を抜き(密圧を与え)、その状態でも音速を 測定した。

下図のように、周囲からの振動を与えることで粒子が沈殿し、粒子と粒子とがより密になる。 下図左側を「密圧無し」、下図右側を「密圧有り」とした。



### 《考察》

水中においては、理論値と大きく離れたデータを得られたが、これは測定対象である水の表面の揺 らぎなどをマイクが感知してしまっていると考えた。これに対して水中におけるマイクの固定、マイ クの感度の設定変更、防水材の改良、などの処置を試みたが、改善が見られなかったため、このまま 本実験に移った。

空気中においては理論値通りのデータが得られた。

粒子中においては若干ではあるが、密圧があった方が音速の値が大きくなるというデータが得られ た。



### 《研究結果(本実験)》

予備実験と同じく、縦軸は音速(m/s)、横軸は試行回数を表している。

また、周囲から振動を与えることで粒子間の空気を抜き(密圧を与え)、その状態でも音速を測定した。

#### 《考察》

突出するデータがあるものの、各試行においての音速の値は一定であった。

同条件下における試行ごとの差は、粒子・水混合体の再現性のなさを表していると言える。空気中 や純粋な砂中とは違い、同条件にしようとしても、差異が発生してしまった。この差異を埋められる ように多くの実験データを測定したが、今回測った分では十分ではなかった。

結果は、密圧が小さい方が大きい値が得られるというものだが、この結果は空気中や水中などの音 速のデータに代表されるような「密度の大きい物質ほど早く音を伝える」という事象に反する。使用 したものは空気や水とは違って一様な流体ではないため、それが原因であると考えた。

粒子・水混合体は「粒子(+水)」と考えることが出来るため、予備実験において使用した「粒子(+空気)」と対比することが出来る。「粒子(+空気)」→「粒子(+水)」の変化において音速が上昇していることは本実験の結果を裏付けるものであると言える。

#### 《結論》

ケイ砂を水で満すことでできる粒子・水混合体の音速は、密圧有 141.6m/s 密圧無 186.1m/s である。

### 《反省・感想・今後の課題》

まずテーマ探しの段から手間取った。テーマの決定後も、先行研究の調べ方が不十分であった。

水中の音速測定においては、マイクの固定方法、防水方法に手間取った。空気中とは違い、ビニー ルで何重かマイクを覆うため、純粋に水のみの音速を測定できたとは言えなかったが、実験方法上他 に仕様が無かった。

また、スピーカーの固定も手で行っていたため、特に水中ではデータに大きく振れ幅が出てしまった。

一つのテーマについて一年以上にわたって研究したことはとてもいい経験になった。研究に限ら ず、今後はこの反省点を活かせるようにしたい。

データ数を増やしたい。

実験を行ったケイ砂と水との比率を変えることで、また違った値が得られると考えた。しかし、砂 中の音速においては砂粒を回析する音、通過する音などがあると考えたため今回実験に置いて用いた 方法ではこれ以上の追加実験は難しい。

# 砂の水の通しやすさと最大間隙水圧の関係

The Relationship between the Quantity of Water passing through Silica Sand and the Maximum Value of the Pore-Water Pressure

> 千葉県立船橋高等学校理数科3年 井野塲遼馬 中川権人

### Abstract

When sands whose gaps are filled with water and air are shaken, sands behave as liquid liquefaction. Liquefaction relates to the pore-water pressure, the pressure of water around the sands grains. We examined the relationship between the sand condition, close or loose, and the maximum value of the pore-water pressure. First, we quantified the sand condition. We put silica sand into the device, ran water into the device with constant time and pressure, and measured the quantity of permeance. Then, we shook the device and measured the maximum value of the pore-water pressure. We used 5 types of silica sands having different fineness. Type A consists of fine grains smaller than 0.5mm, while type B does rough grains of which diameter are in the range 0.5-1.0mm. Types C, D and E are the mixture of types A and B. The result shows graphs of A, C, D and E match. Namely, the conditions of the only fine sands and the mixture of fine, rough sands are the same on the liquefaction. Also, the result shows the more the fine sands have rough sands, the less large pore-water pressure is.

### はじめに

液状化の研究は課題研究でこれまでも数多く行われてきたが、数値化が難しくあまり良い成果は得 られていない。また、研究機関で行われている液状化の実験は非排水条件での実験のため実際の液状 化とは条件が異なってしまう(自然界では排水条件)。そこで私たちは液状化と密接な関係にある間 隙水圧に着目して、排水条件でかつ数値化をしやすい装置を作り、実際の液状化に近いモデル実験を 行った。

### 研究目的

以前行っていた研究から間隙水圧の変化の仕方には砂の状態(疎密)が影響することが分かった。 そこで、間隙水圧と砂の疎密にはどのような関係があるのか、またその関係は何を意味するのかにつ いて実験し考察する。

### 原理

間隙水圧とは…砂粒の周りにある水の圧力のこと。

\*メカニズム

液状化の起こる前の砂は、砂が水で飽和し砂粒同士がわずかに支え合っている不安定な状態にある (…①)。ここに振動を与えると間隙水圧が上昇し、砂粒同士のつながりが切れて、砂は液体のよう な状態になる(…②)。つまり、発生した間隙水圧が大きいほど液状化の程度は大きいと言える。





### 研究方法

<u>1. 使用したもの</u>

① 装置

15×15×1.5 (cm<sup>3</sup>) のプラスチック容器の側面二か所に穴をあけ、そこにチューブを通したもの。

### ② 砂

ふるいを用いて、珪砂を(ア)粒径-0.5mm と(イ)粒径 0.5-1.0mm に分け、それらの混ぜる比率によって 5 種類の砂を作った。

A:0 B:1.0 C:0.21 D:0.50 E:0.75 (全体の質量に対する(イ)の割合)

### 2. 砂の疎密の定量化

・砂に水を一定時間一定圧力で流し、出てきた水の量(以下透水量)を量る。 透水量は、砂が密の状態であれば少なくなり、砂が疎の状態ならば多くなる。

- ・砂を装置に入れたときに混ぜ方を変えることによって砂の疎密を変える。
- ① 装置に珪砂を 100g入れ、装置を水で満たした。
- ② チューブ a から水を 30 秒間流し、透水量を測定した。このとき装置内の水位が常に一定 になるように装置内に水を入れた。
- 3. 間隙水圧の測定
  - ・間隙水圧が上昇することによって、チューブ b 内の水位が上昇する。この水位の変化の最大値を 測ることで最大間隙水圧を調べた。
  - ・透水量と間隙水圧の変化を調べるので2と3は連続して行う。
  - ③ 装置内の珪砂の上に、不透水層となるガラスビーズ(粒径 0.05mm)を厚さ1cm入れた。 不透水層は間隙水圧の変化を明確にする役割を果たす。
  - ④ 振動装置を用いて装置を一定時間水平方向に揺らした。
  - ⑤ チューブ内の水位の変化の最大値を測定した。





### 考察



一般的に、マトリックスサポートの透水性とクラストサポート(ii)の透水性は一致することが知られている。結果から、クラストサポート(ii)であるAとマトリックスサポートであるC.D.Eのグラフがほぼ重なっていることがわかるので今回得られたデータは妥当であるといえる。

特に、Eのグラフ、つまり砂全体の質量に対する粒径 0.5-1.0mm の砂の割合が 0.75 の場合に おいても A のグラフとほぼ重なることから、粒径の大きな砂に対する小さな砂の影響は非常に大き いことがわかる。

一方で、BはA.C.D.Eに比べて透水量が多くなることがグラフから分かる。

これらのことは、小さな砂粒が大きな砂粒の周りにあることにより、隙間を埋めて透水量を減らしたと考えることで説明することができる。

#### 2. 最大間隙水圧の最大値について

それぞれの砂における最大間隙水圧の最大値と、砂全体の質量に対する粒径 0.5-1.0mm の砂の割 合の関係は、次のグラフになった。



グラフから全体の質量に対する粒径 0.5-1.0mm の砂の割合が大きくなると最大間隙水圧の最大 値は一定の割合で小さくなることがわかる。つまり、粒径の大きな粒よりも小さな粒の方が発生す る間隙水圧は大きくなり、小さな粒に大きな粒が混ざれば混ざるほど間隙水圧は上がりにくくなる ということが言える。

### 結論

砂の状態が疎であるほど、また粒径が小さいほど発生する間隙水圧が大きくなる。これはマトリッ クスサポートにおいても言うことができ、このときは全体の質量に対する粒径の比率が間隙水圧に影 響を与える。これらのことは実際の液状化においても言える。

### 今後の課題

これからは A.C.D.E と B の間のグラフ、つまりマトリックスサポートから抜け出す条件を見つけたい。また、もっと多くのデータを取って粒径の比率と間隙水圧の関係を確立したい。

### 謝辞

岡崎浩子先生(千葉県立中央博物館) 風岡修先生(千葉県環境研究センター) とても参考になる貴重なアドバイスを頂きました。ありがとうございました。

#### 感想

 ・今回の実験方法にたどり着くまでが長くとても大変で、様々な方法を繰り返してはめぼしい結果が 得られず、考察して方法を改良することの繰り返しでした。岡崎先生や風岡先生をはじめ多くの人 からヒントを頂き、最終的にこの研究までたどりつきました。だからデータをとる時間が少なく、 11月から毎日地学室で何かやっているという状況になってしまいました。

### 参考文献

- ・絵とき 地震による液状化とその対策 監修:全国地質調査業協会連合会 編:関東地質調査業協会 液状化研究会
- ・平成26年版 千葉県環境白書 2. 液状化-流動性のメカニズム解明に関する研究
- ・宮田雄一郎(日本堆積学会,2010)P-4 2.物性と応力
- ・http:/www.lt-landtext.com/tsuchinoto.htm 土質調査

# ダイラタンシー現象における力と速度の関係

The Relation between Force and Velocity in the Dilatancy Phenomenon 千葉県立船橋高等学校理数科3年 岩井 一輝

Abstract

I studied how to quantify the dilatancy phenomenon with an experiment using dynamics cart. I created dilatant fluid from potato starch and water at a weight ratio 1:1. I put the fluid in a container on the cart. I fixed a stick to the stand, and put it in the fluid. I moved the cart with pulley and weight [50-500g every 50g], and filmed the experiment. The velocity of cart was constant. I thought the weight and resistance needed for stick to the fluid was almost balanced. I observed velocity is proportional to weight. From this result, I judged velocity is proportional to resistance. I thought the cart repeated acceleration and deceleration movement caused by dilatancy phenomenon.

### 研究目的

台車を用いた実験を通してダイラタンシー現象を定量化すること。

### ダイラタンシー現象とは

粉末粒子と液体の混合物であるダイラタント流体が示す異常な粘性のこと。ゆっくりとした外力を加 えたときは液体のように振る舞うが、急激な外力を加えたときは固体のように振る舞う。流体の硬化 は力を加えた部分の水分が他の部分に移動することで起こっている。

### 実験1

### 実験方法

①水と片栗粉を重量比1:1で混ぜてダイラタント流体を作った。
 ※今回はそれぞれ200g ずつ使い、400gの流体を作った。

②流体をプラスチック製の容器に入れ、それを力学台車に固定した。

- ③滑車とおもり [50g, 100g, 150g, …, 500g] を用いて台車を水平に動かした。
- ④各重さの実験をする前によくかき混ぜ、10分間放置することで流体の条件を揃えた。

⑤台車を糸で進行方向と逆方向に固定し、その糸を切ることによって初速度0でスタートさせた。

- ⑥実験をする際、流体中にスタンドで固定した金属製の棒を差し込むことで、ダイラタンシー現象を 起こすための抵抗とした。
- ⑦実験を動画で撮影し、解析して重さごとの時刻(s)と速度(mm/s)の関係のグラフを作った。 またおもりの重さ(g)と速度(mm/s)の関係のグラフを作った。
  - ※撮影に使用したカメラは1秒間に15コマで撮影することができ、それを3コマごとに解析する ことで1/5(s)の精度のグラフを作った。
# 実験装置の模式図



実験結果



グラフは時刻と速度の関係を表しており、直線はグラフの線形近似曲線である。



グラフ中の散布図はおもりの重さと速度の関係を表しており、直線は散布図の線形近似曲線である。

考察

- ① 各重さのグラフの線形近似曲線がほぼ水平になったことから、台車はほぼ等速直線運動したことがわかった。そのことからおもりの重さと流体にはたらく棒からの抵抗力がほぼ釣り合っていると考えた。
- ② おもりの重さと速度の関係のグラフから、おもりの重さと速度は比例関係があることが わかった。
- ③ ①と②から、抵抗力と速度には比例関係があると判断した。
- ④ 50gのグラフから、台車は加速と減速を繰り返していることがわかった。それは以下の メカニズムで起こっていると考えた。



# 実験 2

実験1の結果がダイラタンシー現象によるものなのかという指摘を受けたため、ダイラタンシー現象 の発生を確認するために実験2を行った。実験2ではダイラタンシー現象の力を加えた部分から他の 部分に水分が移動することを利用した。

# 実験方法

ダイラタント流体の溶媒を青インクで着色した水にした。また、おもりの重さは 500g で行った。 10 分放置の後に上澄み液を取り除いた。その他は実験1と同じ方法で行った。

## 実験結果



スタート前

スタート直後

#### 考察

水分が他の部分に移動したことで流体中に力を加えた棒の周りの色が薄くなったことから、実験 1,2 においてダイラタンシー現象が起こっていると考えられる。

# 結論

ダイラタント流体にはたらく棒からの抵抗力と台車の速度には比例関係がある。また、台車の加速減 速運動はダイラタンシー現象によるものだと考えられる。

#### 今後の課題

・500gより重いおもりを用いて実験したい。

・スタート直後の加速度運動を解析したい。そのためによりコマ数の多いカメラを使用したい。

#### 反省・感想

使用したダイラタント流体がカビやすいために保存することが出来なかったり、1 セットの実験をす るのに半日掛かってしまったり、実験しても解析には半月以上掛かってしまうなど時間に関する制限 が厳しかった。

今後ダイラタンシー現象の研究を行う人がいるなら時間制限を少しでも緩和するために、流体をカビ させない保存方法を探したり、共同研究者を見つけたりしてから行うべきだと思う。研究すればする ほど疑問点が見つかるので、やりたい実験はまだたくさんある。ダイラタンシー現象の研究は自分に とってはとても興味深い研究だった。

# ルールを変えたときの三山崩しの勝敗判定法

The Method to Judge the Winner of "Miyamakuzushi" If We Change Its Rule

千葉県立船橋高等学校理数科3年 和田一樹 羽生田聖人

#### Abstract

We tried to judge the winner of *Miyamakuzushi* by using mathematics, and we considered this victory pattern when changing this rule. *Miyamakuzushi* is the taking stones game, but players can take stones from only one mountain. The player who takes the last stone is the winner. We are able to understand which player will win by using a binary notation. By separating the stones we could use a binary notation when we limited the number of taking stones in this game. The key of this game is a binary notation. In *Two Dimensional Nim Game*, this is a kind of *Miyamakuzushi*, if the initial placement is point symmetry, we can recognize the winner. In conclusion, we are able to understand the winning strategy of *Miyamakuzushi*'s game by using a binary notation, and we are able to judge that of *Two Dimensional Nim Game* by connecting the stones.

## はじめに

ゲーム理論について研究をすると決めた後に三山崩しというものがあると知り、さらにその勝敗は 初期配置に依存することが先行研究よりわかった。ルールを変えても勝敗は初期配置に依存するのか を明らかにしようとして本研究を始めた。

#### 研究目的

石取りゲームの一種である三山崩しを、ルールを変化させたり、発展させたりしたときの勝敗の変 化を明らかにする。

#### 前提

最初に三山崩しのルール説明をする。これは場の3 つのグループ (以降「山」と呼ぶ)に配置されているいくつかの石を2人のプレ イヤーが交互に取っていき、最後に石を取りきった方が勝ちという ゲームである。ただし石を取るとき、同時に2 つ以上の山からはと ることができないが、1 つの山からなら1 個以上いくつでも取れる。 これを基本ルールとする。



ここでは、3 つの山に石が a 個、b 個、c 個あるときの状態を (a, b, c)と表す。

次に、各山にある石の数をそれぞれ 2 進数表記して、各位に出てきた「1」の個数を位ごとに数える。その数が全て偶数になったときを「バランス」、1つでも奇数があるときを「アンバランス」と よぶことにする。例えば、石の初期配置が図1の(3,5,7)の場合、

# $3 = 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1$

#### $5 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1$

# $7 = 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1$

位ごとに出てきた1の数を足すと、 $2^2$ の位は2、 $2^1$ の位は2、1の位は3となる。

この場合奇数が入っているため「アンバランス」とよぶ。

またバランスには次のような性質がある。

第一に「山がバランスのときに石を取ると必ずアンバランスの状態になる」

第二に「山がアンバランスのときに石を取ると、取り方次第でバランスの状態にもアンバランスの 状態にもできる」ということである。

これら 2 つの性質を使って基本的な三山崩しの必勝法を確立することが出来る。石の初期配置が (3,5,7)のときを例にとって考えてみる。まず、(3,5,7)はアンバランスの状態である。最初に先手は バランスの第二の性質より山をバランスさせることができる。具体的には(3,5,7)から(2,5,7)の配置 にする。次に後手は山がアンバランスの状態で順番が回ってくるので第一の性質より山をアンバラン スにすることしかできない。ゆえに先手には必ず山がアンバランスの状態で回ってくる。この後も同 様に石を取っていくと、先手は必ず山がバランスの状態で後手に回すことができる。

ここで重要なのが(0,0,0)はバランスした状態であるということである。先手はバランスした配置 を後手に与え続けるので、最終的に(0,0,0)は後手の順番に回ってくることになる。これは最後の一 個を先手が取ったということを意味する。つまり先手の必勝ということになる。

例:初期配置(3,5,7)のとき(下線が引かれている配置はバランスを意味する)

次に、石の初期配置が(2,5,7)のときについて考える。まず、(2,5,7)はバランスしている状態であ る。先手は山がバランスの状態で順番が回ってくるので第一の性質より山をアンバランスの状態にす ることしかできない。また、後手は山がアンバランスの状態で順番が回ってくるので第二の性質より 山をバランス状態にすることが出来る。これは初期配置の山がバランスしていない(3,5,7)の場合と 立場が逆転した状態であるといえる。すなわち、最後の石を後手が取ることになるので後手の必勝と いうことになる。

以上のことより、次のことがいえる。

石の初期配置がアンバランス⇒先手必勝 石の初期配置がバランス⇒後手必勝

#### 研究結果

#### <一度に取れる石の個数を制限したとき>

本来のルールでは一度に一つの山からいくつでも石を取ることができた。ここでは一度に取れる石の個数の上限をn個までと定義したときの勝敗について考える。

最初に3つの山(A,B,C)の石を次のような塊に分ける。





ここでは n+1 の塊について考える。相手がこの塊

からk 個 (1 $\leq k \leq n$  …①)の石を取ったとすると、n-k+1 個の石が残る。

ここで、	①より	$1 \leq k \leq n$
	両辺に-1を掛けて	$-n \leq -k \leq -1$
	さらに両辺に n+1 を加えて	$1 \leq n-k+1 \leq n$

このことより、残った n-k+1 個の石は次の人、すなわち自分の番で全て取ることができる。したがって、先手と後手の番が一巡したらちょうど n+1 の塊が消えるので、場にある全ての n+1 の塊は考慮する必要がなくなる。すなわち ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ )のバランスを考えればどちらが必勝か判断できる。初期配置の石を先述の通り分割したとき、

(α, β, γ) がアンバランス⇒先手必勝
(α, β, γ) がバランス⇒後手必勝

#### <二次元石取りゲームへの拡張>

二次元石取りゲームは三山崩しを発展させたゲームである。右下の図のように、格子状のマス目の 中に石が配置されていると考えてよく(石が配置されていないマスがあってもよい)、また、多くの ルールは同じだが、二次元石取りゲームのみに適用されるものが二つある。

・自分の番で、縦あるいは横の一列からいくつでも石をとることができる (例えば1と4と7の石を取ったり、5と6の石を取ったりできる)

 ・スペースを挟んで2つ以上の石を同時に取ることはできない (スペースとは、石が置かれていない場所を指す。例えば4にスペー スがある場合、1と7の石は同時に取れない)

1	2	3
4	5	6
7	8	9

先行研究では2進数表記を用いた解析を行っているものもあるが、それはどの石を取れば勝ちにも っていけるかが判別しづらい。それをわかりやすくするために、この研究では初期配置が点対称であ る二次元石取りゲームの必勝パターンを調べた。

最初に、対応する石どうしを線で結ぶ。

右図の左が初期配置だったとき、先手は中央の 線で結ばれている2つの石を同時に取ることが できる。次に後手がどの石を取っても、先手は 対応する石を取ればよいので先手必勝である。



一方下図の左のように、先手が対応している石を同時に取れない初期配置のとき、先手がどのよう に取っても後手がそれに対応する石を取ることができる。したがって、最終的に最後の石を後手が取 れるので後手必勝である。







これらのことより、勝敗は最初に先手が対応する石を同時に取れるかどうかで左右される。

点対称の初期配置で、全ての石をマスに入れられる最小の長方形の格子には次の 3 パターンがある。

# 縦、横のマス目の数が (i) 一方は偶数でもう一方は奇数 (ii)どちらも奇数 (iii)どちらも偶数

(i)のとき

右図の左のように奇数マスの中心の 列の中央 2 マスに石がある場合、先手 がこの 2 つの石を取ることで先手必勝 になる。

一方この 2 つの石がなければ先手の 取った石に対応する石を後手が取れる ので後手必勝である。

(ii)のとき

右図の左のように対称の中心に石がある場合、先 手がこの石を取ることで先手必勝になる。

一方この石がなければ先手の取った石に対応する 石を後手が取れるので後手必勝である。

(iii)のとき

どのような初期配置でも後手は先手の取った石に対応する石を取れるので 後手必勝である。

#### 結論

三山崩しでは、ルールを変化させても 2 進数表記を用いたバランスの考え 方を応用できるため勝敗が判定できる。二次元石取りゲームに発展させたと

きには、初期配置が点対称ならば石どうしの対応を考慮すればどちらが勝つか判断できる。

#### 謝辞

千葉大学理学部数学科教授 渚勝先生から研究に対する意見をいただいた。お礼申し上げる。

#### 参考文献

内藤久資(1999)「ゲームの戦略 --Nim って知ってますか?-」 https://www.math.nagoya-u.ac.jp /~naito/lecture/high\_school\_1999/note.pdf

#### 反省・感想

今回の研究ではかなり多くの部分を先行研究に頼ってしまった。また、ある程度の結果は得られた が二次元石取りゲームでは初期配置が点対称であるという条件付きでしか勝敗を判別できなかった。 しかし、取る石の個数を制限した三山崩しに関しては既存の考え方から応用してオリジナルの必勝法 を見出すことができたので良かった。





# 複素数における約数の総和

The Total of Divisors in Complex Number

千葉県立船橋高等学校 理数科3年 吉原和志

#### Abstract

In Complex number, I tried to decide the divisors and find the relationship between the number and the total of the number's divisors. Complex number is the number which is explained a + bi (*i* is the imaginary unit which is square root of -1, a and b are real numbers.) In complex number, prime factorization is not only one pattern, because this decomposition ignores the multiplication of the units. The result is that I found two ways to get the total of divisors. One way is that I make the prime factors even by using the units. The other way is that I make the divisors even by using only positive divisors. In both ways, the totals and the numbers have positive relationship, and several ratios have similar values.

# 目的

複素数において約数を定義し、約数の総和と元の数との関係を調べる。

#### 前提

- 約数:ある数を割り切れることのできる数のこと。
- 複素数 : 実数 a,b と虚数単位  $i(\sqrt{-1})$  を用いて、a + bi と表せる数。特にa,b が整数のものをガウス 整数と呼ぶ。また、複素数における素数をガウス素数と呼ぶ。

単数 :1の約数。複素数においては(1,*i*,-1,-*i*)の4つのみである。

- 絶対値 : a + bi に対して、 $\sqrt{a^2 + b^2}$
- **σ(n)** : n の約数の総和を表す。
- 整数において、約数の総和を求める公式は、
- 整数  $a = p_1^{b_1} \times p_2^{b_2} \times p_3^{b_3} \times \cdots \times p_k^{b_k}$  ( $p_1, p_2, p_3, \cdots, p_k$  は異なる素数) ならば、

 $\sigma(a) = \left\{1 + p_1 + p_1^2 + \dots + p_1^{b_1}\right\} \times \left\{1 + p_2 + p_2^2 + \dots + p_2^{b_2}\right\} \times \dots \times \left\{1 + p_k + p_k^2 + \dots + p_k^{b_k}\right\} \succeq \mathcal{I}_{\mathcal{I}} \mathfrak{I}_{\mathcal{I}}$ 

複素数において素因数分解の一意性は成り立つが、単数による掛け合わせを無視するため、ただ1通りにならない。ここでいう"単数による掛け合わせを無視する"とは、

(8+i) = (-i)(-1+8i) = (-1)(-8-i) = (i)(1-8i) というように単数をかけることで等しくなる数 同士を同じ数として見ると言うことである。

例えば、8+i = 
$$(2-i)(3+2i)$$
  
=  $(1+2i)(2-3i)$   
=  $(-2+i)(-3-2i)$   
=  $(-1-2i)(-2+3i)$  これら8つは全てガウス素数であり、素因数である。

複素数において、大小を比較するときは絶対値を用いることとする。

# <約数を揃える方法>

数は全て自明な約数を持っている。自明な約数とは、1と自身のことであり、この2つは約数である。 複素数において、単数の掛け合わせは意味を持たないので、ある複素数cの自明な約数は (1,*i*,-1,-*i*,*c*,*ic*,-*c*,-*ic*),上記の素因数分解を用いると約数は次のように考えられる。

1	1 + 2i	3 + 2i	8+i	実数部分、虚数部分、共に正
i	-2 + i	-2 + 3i	-1 + 8i	実数部分は負、虚数部分は正
-1	-1 - 2i	-3 - 2i	-8 - i	実数部分、虚数部分、共に負
-i	2-i	2 - 3i	1 - 8i	実数部分は正、虚数部分は負

上の約数すべての和は0になる。これは、整数において正と負の約数を足しているような状況と考えられる。整数においては単数として(1,-1)の2つしかないが、複素数においては4つ存在するので4通りに分け、実、虚、共に正である4つのみの合計を正の約数の総和とする。

$$\mathcal{FOT}(s, \sigma(8+i)) = 1 + (1+2i) + (3+2i) + (8+i)$$

= 13 + 5*i* 



# <素因数を揃える方法>

素因数分解は単数の掛け合わせを無視するため、同様に単数を用いればただ1通りにすることができると考えた。素因数に単数をかけると4通りの数字となる。そのうち整、虚、共に正の数を基準として素因数をそろえると、次のようになる。

$$8 + i = (2 - i)(3 + 2i) = -i(1 + 2i)(3 + 2i)$$
  
$$= (1 + 2i)(2 - 3i) = (1 + 2i)(-i)(3 + 2i)$$
  
$$= (-2 + i)(-3 - 2i) = i(1 + 2i)(-1)(3 + 2i)$$
  
$$= (-1 - 2i)(-2 + 3i) = -(1 + 2i)(i)(3 + 2i)$$
  
$$= -i(1 + 2i)(3 + 2i)$$

1通りにととのえられたため、8+*i*は1+2*i*と3+2*i*で構成されていると分かった。 整数の公式を用いて、  $\sigma(8+i) = \{1 + (1+2i)\}\{1 + (3+2i)\}$ = (2+2i)(4+2i) = 4+12i



#### 結果

<総和と元の数との関係>

・2つの方法で求めた約数の総和が異なる。

・ガウス素数pの約数の総和は、1+pであり、どちらの方法でも変わらない。

・素因数を揃える方法では、素因数 p<sup>b</sup> が負になる可能性があるので、全体的にみると約数を揃える方 法よりも小さくなる。

<総和と整数との関係>

 $\sigma(8+i) = 1 + (1+2i) + (3+2i) + (8+i) = 13 + 5i$  を絶対値の二乗で表すと、

 $\sigma(65) = 1 + (5) + (13) + (65) = 84$  : (絶対値)<sup>2</sup>

 $\sigma(65) = 1 + 5 + 13 + 65 = 84$ 

: 整数

上のようになり、整数65の約数と等しくなる。

 $\sigma(3+3i) = 1 + (1+i) + (3) + (3+3i) = 8+4i$ 

 $\sigma(18) = 1 + (2) + (9) + (18) = 30$  : (絶対値)<sup>2</sup>

 $\sigma(18) = 1 + 2 + 3 + 6 + 9 + 18 = 39$  : 整数

整数における素数が必ずしもガウス素数の(絶対値)<sup>2</sup>と等しいとは限らない。

例えば、(3+3i)では、(絶対値)<sup>2</sup>が3となる複素数が存在しないため、整数と完全には一致せず、約数3と6が抜けている。どちらの方法でも、約数の総和は整数とは異なる。

これは、複素数 A, B に対して |A|<sup>2</sup> が |B|<sup>2</sup> で割り切れるとき、A は B で割り切れることに関係する。

#### 結論

約数の総和と元の数には正の相関関係があり、約数を揃える方法の方が全体的な傾きが大きい。 約数の総和を求める方法として2つの方法が考えられる。 素因数の個数が増えることで約数の総和が大きくなると考えられる。 グラフに見られるデータの集まりは、比例直線であり、σ(n)/nが1となる直線が最小値であり、元の 数は素数であると考えられる。 ガウス整数の約数と整数の約数は関係が深い。

#### 展望

素因数の個数と約数の総和とが比例するか。 グラフに見られるデータの集まりがどのような値をとるか調べる。

#### 参考文献

「数論入門」 (2008) 芹沢正三

#### 感想

この研究では、ガウス素数を用いて約数の総和を求めることができたが、結果をうまく数式に表すこ とができなかったので、関係式を見つけ出せればよかった。 具体例から法則をみつけるのではなく、性質から法則をみつけようとすべきだった。 納得のいく結果が出たわけではなかったが、良い経験になった。

# 新しい立体パズルの作成とその数学的性質

The Creation of a New Cubic Puzzle and Its Mathematical Properties

千葉県立船橋高等学校普通科3年 松岡里衣 小坂友紀 名兒耶美緒 並木千夏

#### Abstract

We made a new puzzle like Sudoku on a surface of a cube. The rules of this puzzle are as follows; First, divide each face of the cube into 3×3 squares. And the surfaces of them are painted in 9 different colors. Second, the squares sharing the same edge of the cube have the same color. We change the 9 colors into the numbers from 1 to 9, researching this puzzle.

We put hint numbers on an expanded diagram of the cube like Sudoku, and make a game. When the arranged numbers from 1 to 9 are on one face of the cube, we found that there are 734 ways to arrange remaining numbers. We paid attention to the same coloration among the 734 ways.

The same coloration is grouped by the operation that shuffles numbers from 1 to 9. The operations are 24 ways (6 faces  $\times$  4 directions). We found that 734 ways are classified into 60 groups. As a result, we found that the set of the 24 operations is the Permutation group for the operation of composition.

# <はじめに>

立方体の表面に数独のような考えを取り入れたら、新しいパズルができるのではないかと思い、試行 錯誤した。その結果、本研究で用いるパズルにたどり着き研究を始めた。

# <研究目的>

パズルのルール
①立方体の各面を3×3のマスに区切り9色を配置する
②辺を挟んで接するマスは同じ色にする(図I)
③考える上で色を数字で置き換える

図 I



#### 2.目的

①ゲーム化する ②数字の入れ方が何通りあるのかなど、規則性を見つけ出す

# く考察>

# 1. ゲーム化

数独の作り方を参考にし、数字の入っていない展開図にヒントの数字を入れていった。 この中で最小ヒント数は9個であり、ヒントに使う数字は8種類以上で角に2か所以上入っていない と解くことができない。



#### 2. 数字の入れ方の総数

図の網掛のように数字が並んだ面を基本面とし、図の位置に固定し基本面以外のマスを文字で表す。 A1→B1→C1→D1→A2→B2→C2→D2→AB1→BC1→CD1→DA1→AB2→BC2→CD2→DA2→X の順で前提を満た

すように数字を入れていく。なお、A1~DA1に数字を入れると

各面で8個の数字が入るのでAB2, BC2, CD2, DA2, Xの5か所

自動的に入る数字が決定する。

このような手順で数字を決めると、全部で734通りの 入れ方があることが分かった。

これらに1~734までの通し番号をつけることにする。

また、パズルを単純化するために、立方体の各面を

2×2のマスに区切ったパズルも考えたが、数字の

入れ方が1通りしかないことが分かったため、研究対象から外した。

# 3. 各面の中心の数をすべて同じ数字にした場合

各面の中心のマスをすべて同じ数字にした場合(図II)の数字の入れ方は以下の通し番号 390 と 438 の 2通りのみである。

1.	1 TT		9 7 94 7 390										0					9	6	7	[				10	0								
X	ш			5		1								6	5	8	1			39	0					8	5	4					43	ð
			1	2	3	1								1	2	3										1	2	3						
9		1	1	2	3	3		7	7	9	9	6	1	1	2	3	3	8	7	7	4	9	9	8	1	1	2	3	3	4	7	7	6	9
	5	4	4	5	6	6	5			5	8	5	4	4	5	6	6	5	2	2	5	8	2	5	4	4	5	6	6	5	8	8	5	2
3		7	7	8	9	9		1	1	3	3	2	7	7	8	9	9	4	1	1	6	3	3	6	7	7	8	9	9	2	1	1	4	3
			7	8	9									7	8	9					_					7	8	9						
				5		1								2	5	4	1									6	5	2						
			3		1									3	6	1	1									3	4	1						

5	2		A1	DA1	D1						
行は			A2	DA2	D2						
			1	2	3						
A1	A2	1	1	2	3	3	D2	D1	D1	DA1	A1
AB1	AB2	4	4	5	6	6	CD2	CD1	CD1	х	AB1
В1	B2	7	7	8	9	9	C2	C1	C1	BC1	B1
			7	8	9						
			B2	BC2	C2						
			B1	BC1	C1						

4.分類

たとえば、図皿の数字を 
$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ \downarrow & \downarrow \\ 3 & 6 & 9 & 2 & 5 & 8 & 1 & 4 & 7 \end{pmatrix}$$

基本面の数字が左に 90°回転している。図Ⅳの展開図の開き方を変えたものが図Ⅴである。 図Ⅲと図Ⅴを比較すると、赤のマスは入っている数字は異なるが、両方とも頂点 C,E に入っているた め、2 つのマスの位置関係は同じである。他の色のマスも同様である。よって図Ⅲと図Ⅴの数字の入 れ方は異なるが、色分けは同じである。このように、通し番号 1 と 140 のような色分けが同じになる ものを同じグループとして分類することを考えた。



図VIの面1をf(fix),面2をo(opposite),面3を1(left), 面4をr(right),面5をu(up),面6をd(down)とし、図VIIの ように基本面の数字を左に0°回転させたものを0R、90°回転を 1R、180°回転を2R、270°回転を3Rと定める。以上を組み合わせると、 基本面の移動はf0R,f1R,f2R,f3R,o0R…10R…r0R…u0R…d0R…d3R の24通りの操作で表せる。たとえば、図IIIにf1Rの操作をしたもの が図IVすなわち図Vである。



のように置き換えると図IVになり、



なお、fOR は基本面の移動がないことを意味する。

⊠VШ

734 通りの入れ方について、24 通りの操作を行い分類すると、60 のグループに分割できることが分か った。図VIIIはこの分類のイメージ図である。1 つのグループに 24 通り入るものが 11 グループ、12 通 り入るものが 33 グループ、6 通り入るものが 8 グループ、4 通り入るものが 6 グループ、1 通りだけ のものが 2 グループある。1 通りだけの 2 つのグループは「3. 各面の中心のマスをすべて同じ数字に した場合」で出来た 2 通りの入れ方であり、それぞれが 1 つのグループを形成している。

٦	5													
	11	<b>→</b>	24	2			24		24		24			
	33	<b>→</b>	12				12		12			12		
	8	<b>→</b>			5	6		3	6 6		6		6	
	6	<b>→</b>						4	4	4	4	4	4	
	2	$\rightarrow$										1	1	

#### 5. 分類操作における代数的性質

「4.分類」で定めた 24 通りの操作を要素とする集合をAとする。 $x, y \in A$ の任意の要素とし、2 つの操作をx, yの順に行うことをx \* yで表すと、 $x \in A, y \in A \Rightarrow x * y \in A$ が成り立つ。

たとえば、図IXのようにl3Rの操作を行い、基本面が fix の位置に 0R の向きで入るように展開図の開き方を変える。[(1)→(2)]

これにd2Rの操作を行い、展開図の開き方を変えると、o1Rの操作を行った結果と同じになる。

 $\left[ (2) \rightarrow (3) \rightarrow (4) \right]$ 

よって、 $I3R * d2R = o1R \in A$ である。

このようにx\*yは基本面の移動になるので必ず集合Aの要素のいずれかになる。





上で定義したx\*yの演算\*に関してAは群になることを示す。

①Aの単位元が存在する

fOR は恒等置換であるので、任意の要素x  $\in$  Aに対して、x \* fOR = fOR \* x = xが成り立つ。

これより、fOR はAの単位元である。

②任意の要素x ∈ Aの逆元x<sup>-1</sup>が存在する

たとえば、図Xのようにu3Rの操作を行い、基本面が fix の位置に 0R の向きで入るように展開図の開き方を変え、さらにr1Rの操作を行う。 [(1)→(2)→(3)]

(4)は(3)の展開図の開き方を変えたもので、基本面がfixの位置にORの向きで入っている。

すなわち、u3R \* r1R = f0Rが成り立つ。また、同時にr1R \* u3R = f0Rも示される。

このように、任意の $x \in A$ が表す基本面の移動に対して、逆の移動を行う操作もまた基本面の移動である。

よって、 $x * \alpha = \alpha * x = fOR$ となる $\alpha \in A$ が存在し、 $\alpha$ とはxの逆元 $x^{-1}$ である。



③結合法則が成立する

実際、Aの要素は「4.分類」で行ったような{1,2,3,4,5,6,7,8,9}上の置換であり、演算\*は 2 つの置換の合成なので結合法則が成り立つ。

以上からAは位数24の置換群といえる。

また、集合 {fOR, f1R, f2R, f3R} は集合Aの部分群であり、交換法則が成り立つことが分かった。これより、この集合は部分群の中でも可換群になっている。

# <今後の課題>

①代数学の考えからさらに規則性を探る

たとえば、通し番号 390 について基本面が鏡映するような置換を行い、展開図を裏返すと通し番号 438 になることが分かっている。それが他の 732 通りにも成り立つ性質なのかを探る。

			9	4	7	1	谷中山 7 6 9 東京区 1									9	6	7	1																		
			6	5	8	1	390 -→					200 → 4 5 8 表述し										8	5	4		128											
			1	2	3		00	10					3 2 1							-								1	2	3		400					
9	6	1	1	2	3	3	8	7	7	4	9	7	4	3	3	2	1	1	8	9	9	6	7	- [	9	8	1	1	2	3	3	4	7	7	6	9	
8	5	4	4	5	6	6	5	2	2	5	8	8	5	6	6	5	4	4	5	2	2	5	8		2	5	4	4	5	6	6	5	8	8	5	2	
3	2	7	7	8	9	9	4	1	1	6	3	1	2	9	9	8	7	7	6	3	3	4	1		3	6	7	7	8	9	9	2	1	1	4	3	
			7	8	9										9	8	7											7	8	9							
			2	5	4										2	5	6											6	5	2							
			3	6	1	1									1	4	3											3	4	1	1						

②ゲーム化をする上で、現在見つかった最小ヒント数について検証する

#### <参考文献>

BLUE BACKS 群論入門~対称性をはかる数学 ~ 芳沢 光雄 著

