

理数科2年次生実践報告

「課題研究Ⅰ・Ⅱ」の取り組み

平成27年度の理数科2年次では、「課題研究Ⅰ」と総合的な学習の時間（2単位）を「課題研究Ⅱ」として、以下のような要領で計画・実施した。

1 目標

理科及び数学に関する事象について課題を設定し、実験・観察などを通して研究を行い、科学的に探究する問題解決の能力を身に付ける。

2 研究内容

- ・理科及び数学分野の特定の事象に関する研究
- ・理科及び数学分野を発展させた探究活動
- ・理科及び数学分野の歴史的実験例の研究
- ・自然環境に関する調査・研究

3 指導方法

- ・設備・機器などに応じて各グループに課題を設定させ、理科及び数学の教員が指導に当たる。
- ・「課題研究Ⅰ・Ⅱ」の授業は2年次の水曜日に2単位時間を設定し、担当教員全員が指導に当たる。ティーチングアシスタントとして岡山大学の大学院生、留学生、非常勤講師で指導に当たる。また、放課後や夏季・冬季休業中も利用して指導する。
- ・評価については、主担当教員が原案を作成し、指導教員全員で審議して決定する。

4 対象学年 理数科2年次生(40名)

5 1年次からの流れ

| | | | |
|-------|-------------|-------|------------|
| 1年次前期 | 課題研究基礎(1単位) | 1年次後期 | 課題研究Ⅰ(1単位) |
| 2年次前期 | 課題研究Ⅰ(1単位) | 2年次後期 | 課題研究Ⅱ(2単位) |

6 「課題研究Ⅰ・Ⅱ」校内発表会の日程と形態

第1回(研究評価, 口頭発表9テーマ)

- ・日 時 平成27年10月7日(水) 13:50~15:30
- ・会 場 岡山県立倉敷天城高等学校 〒710-0132 倉敷市藤戸町天城269
- ・参加者 理数科2年生(40名)・本校教員
- ・発表時間 1グループ質疑応答を含めて8分

第2回(研究評価, 口頭発表9テーマ)(第13回高大連携理数科教育研究会・第16回岡山県理数科理数系コース課題研究合同発表会)ステージ発表選考会)

- ・日 時 平成27年12月2日(水) 13:50~15:30
- ・会 場 岡山県立倉敷天城高等学校 〒710-0132 倉敷市藤戸町天城269
- ・参加者 理数科2年生(40名), 本校教員, SSH運営指導委員
- ・発表時間 口頭発表は1グループ質疑応答含めて7分

第3回(研究評価, 口頭発表4テーマ, ポスター発表9テーマ)

- ・日 時 平成28年1月27日(水) 13:50~15:30
- ・会 場 岡山県立倉敷天城高等学校 〒710-0132 倉敷市藤戸町天城269
- ・参加者 理数科2年生(40名), 理数科1年生(40名), 2年生保護者, 本校教員
- ・発表時間 口頭発表は1グループ質疑応答含めて10分

7 平成27年度 第13回高大連携理数科教育研究会 第16回岡山県理数科理数系コース課題研究合同発表会の日程

- ・日 時 平成28年2月6日(土)
- ・会 場 岡山理科大学

平成27年度「課題研究Ⅰ・Ⅱ」報告

【物理分野】

1. 糸電話の物理的性質についての研究

濱本源太, 武富一真, 柘野雅基, 綱島直希, 三重野楓樹 pp. 3- 6

2. 回転台を用いた液体の粘度の測定

川西総一郎, 齊藤遼, 守屋友貴, 早川梨乃 pp. 7- 9

3. 水中における2球の落下運動

木村茉由子, 田邊理帆, 百武瑞貴, 森明日香 pp.10-13

4. アルミホイルを用いた電磁誘導式床発電装置の開発

田中佑弥, 坪井星那, 濱西浩平, 森下誠大, 池上真菜 pp.14-16

【化学分野】

5. 発光バクテリアの発光条件の制御

小野尾俊介, 北濱駿太, 清板誉史, 芳賀円香 pp.17-21

6. 炎色反応の発光順序に関する評価方法の検討

大橋和彦, 小原大希, 下家悠太郎, 杉原匠 pp.22-26

7. 色素増感太陽光電池の色素と補色による発電量の関係

稲毛駿介, 大倉隆嗣, 中岡佳幹, 藤田恭平, 吉田歩夢 pp.27-30

【生物分野】

8. 倉敷天城高等学校周辺における野鳥の棲息状況についてのラインセンサス法による調査

小川雅弘, 末長祥一, 鈴木寛隆, 中村哲也, 中尾美咲 pp.31-35

【数学・情報分野】

9. 中高生の家庭と学校における自我状態の違いについて

伊藤洋希, 藤原清人, 古市将也, 吉富広之 pp.36-40

指導教員

仲達修一(物理) 益田史郎(物理) 佐々木和憲(物理) 筒井愛知(物理)

森谷浩巳(化学) 光嶋央貴(化学) 大橋崇(化学) 岩本昌子(化学)

江口仁一(生物) 洲脇清(生物)

磯本貴志(数学) 橋村泰司(情報)

ティーチングアシスタント (GSO)

白神陽一朗, Oberio Roberto jr Flores, Begum Nasinma

糸電話の物理的性質についての研究

武富一真 柘野雅基 綱島直希 濱本源太 三重野楓樹

指導者：筒井愛知

要旨

本研究では、糸電話において音の伝わり方に影響を与えるものについて研究する。最初に弦の種類、長さ、張力を変えて音の伝わり方を比較した。しかし、音の伝わり方は大きく変化しなかった。そこから、この原因は糸電話で本来は紙コップの部分であるところの特性であると考え、その部分の長さを変えて実験した。しかしそれでも音の伝わり方は大きく変化しなかった。結果、糸電話において音の伝わり方に大きな影響を与えるものを特定することはできなかった。

We studied about the things that affect the transmission of sound in a telephone made from two cut pieces of hard paper tubes connected with a string. First, we used strings with different materials, lengths, and tensions, and then compared how they transmit sound. It was found out that there were no significant changes in the transmission of sound. From the result, we thought that the characteristics of the tube can cause changes, so we conducted a study considering the different lengths of the tube. However it was observed again that there were no significant changes in the transmission of sound. As final result, the study could not identify the factors that affect the transmission of sound in the hard paper tube telephone.

キーワード：糸電話，伝達率

1. 序論

糸電話とは、音を糸の振動によって伝達し、離れた2点間で会話ができるように作られた玩具である。そこで、糸電話が糸の振動で音を伝えるならば、弦の固有振動数の影響を受けるのではないかと考えた。

る音の伝わり方の変化を調べる。

<仮説>

弦の張力を大きくすれば高い音が伝わりやすくなる。長さを変えれば音が最も伝わりやすいときの振動数の値が変わる。

糸電話の構造

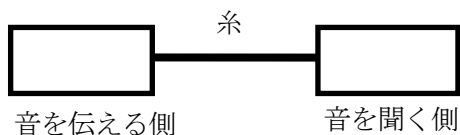


図1

<器具>

- ・大電力低周波発振器 (ORP-20)
- ・テグス 綿糸 銅線
- ・ロールペーパーの芯
- ・トレーシングペーパー
- ・フリーソフト (Wave Spectra)
- ・タコ糸
- ・滑車
- ・マイク
- ・スピーカー
- ・ペットボトル
- ・つまようじ

2. 研究内容

実験. 1

<目的>

弦の種類や長さ、張力を変えることによって生じ

<実験内容>

糸の種類はテグス(ナイロン)(直径:0.52mm)・銅線(エナメル)(直径:0.35mm)・綿(直径.4.0mm)。糸の長さや張力は1m25gw・2m25gw・2m50gwの三種類で実験する。その中で、200~2000Hzの範囲で100Hzごとに音を計測し、伝達率を比較する。

紙コップの部分については再現性を高めるため、硬い構造物で作成した。底はトレーシングペーパーでふさぎ、糸が抜けないようにつまようじで糸を固定した。

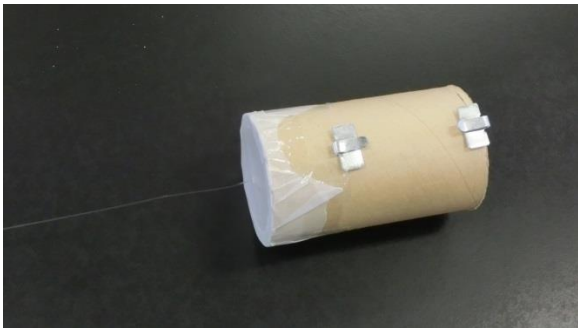


図2

これを以後、紙コップと呼ぶものとする。

$$\text{伝達率} = \frac{\text{出力側の音の大きさ[db]}}{\text{入力側の音の大きさ[db]}} \quad \dots \text{式①}$$

出力側の音の大きさを入力側の音の大きさを除いたものを伝達率とし、実験結果のグラフの縦軸に用いる。入力側は紙コップのみを通して測ったもので、出力側は糸電話全体を通して測ったものとする。このようにすることで、スピーカーやマイクの特性を消すことができる。

伝達したスピーカーの音だけを測るためにコップの開口部分に発泡スチロールをつめた。



図3 出力側



図4 入力側

力のつり合いにより

$$\text{ペットボトルの総重量} = \text{張力} \quad \dots \text{式②}$$

となり、ペットボトルに水を入れ張力を統制する。

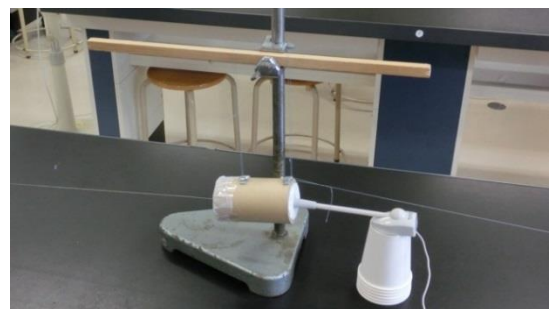
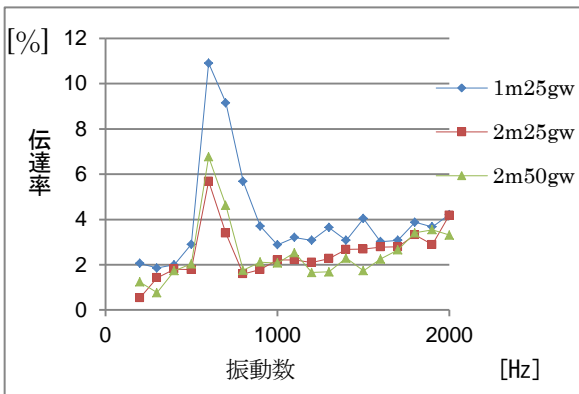


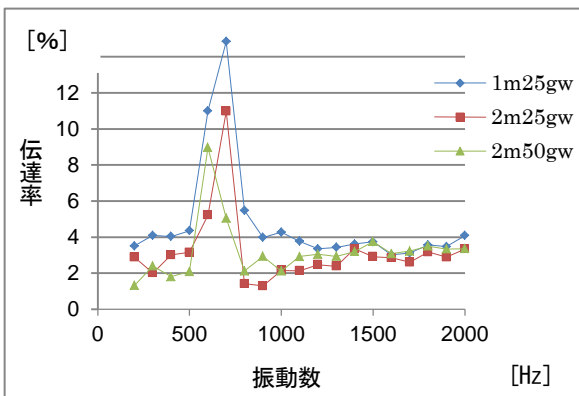
図5

<結果>

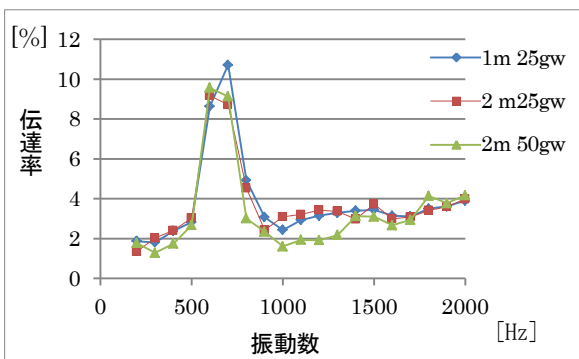
弦の種類、長さ、張力を変えても 600Hz か 700Hz のときに伝達率のピークが来るのは同じであった。よって、弦の種類、長さ、張力を変えることによって伝達率に全く影響がないわけではないこともわかった。(グラフ1, グラフ2, グラフ3)



グラフ1：テグスの長さ・張力と伝達率



グラフ2：銅線の長さ・張力と伝達率



グラフ3：綿の長さ・張力と伝達率

<考察>

600・700Hz の時に伝達率のピークが来ているのは糸の種類、張力、糸の長さ、どれを変えても同じであった。この原因は紙コップの特性であると考えた。そこで、紙コップの長さを変えて実験し、伝達率を比較した。

実験. 2

<目的>

紙コップの長さを変えることによって生じる伝達率の変化を調べる。

<仮説>

紙コップを長くすれば、低い音が共鳴しやすくなるので低い音が伝わりやすくなる。

<器具>

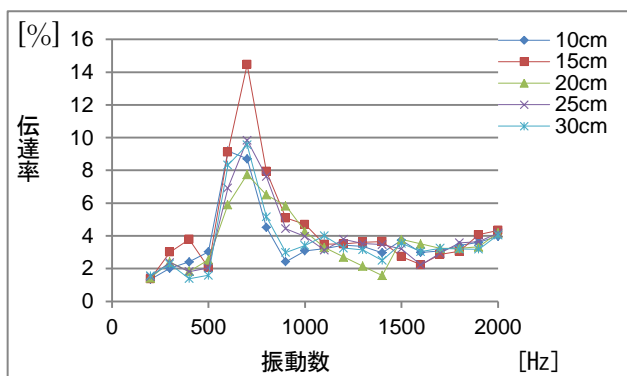
- ・実験1と同じ器具
- ・長さが10・15・20・25・30 cmのコップ

<実験内容>

実験1と同じ方法で、糸をテグスにして紙コップの長さを10・15・20・25・30 cmにして実験し、伝達率を比較する。

<結果>

実験1と同様、600Hz か 700Hz の時に伝達率のピークが来るのは同じであった。紙コップの長さが15 cmで700Hzの時のみ伝達率が大きくなっているのが分かった。ほとんどのデータで700 Hz から 800 Hz までの間で急激に伝達率が下がっているのに対し、紙コップの長さが20 cmの時のみ700 Hz から 800 Hz までの間で急激に伝達率が下がらず、緩やかに伝達率が下がっていった。(グラフ4)



グラフ4：糸電話の長さとの伝達率

<考察>

600・700Hz の時に伝達率のピークが来ているのは、紙コップの長さを変えても同じであった。紙コップの長さが15cmで700Hzの時のみ伝達率が大きくなっていることと、紙コップの長さが20cmの時のみ700Hzから800Hzまでの間で緩やかに伝達率が下がっていったことについて、原因を特定することができなかった。

3. 考察

私たちのこれまでの実験では糸電話において音の伝わり方を変えるものは、糸の長さ・種類・張力、紙コップの長さを変えても音の伝わり方にほとんど影響がないことが分かった。700Hzから800Hzの時に伝達率がピークになっている原因については分からなかった。実験1では弦の長さ、張力の変化の幅が小さかったため、700Hzから800Hzの時に伝達率がピークになっているのが同じであった可能性があると考えた。

4. 今後の課題

実験1では弦の長さ、張力の変化の幅が小さかったため、700Hzから800Hzの時に伝達率がピークになっているのが同じであると考えた。そのため、弦の長さ、張力の変化の幅を大きくし実験する。すべてのデータで700から800Hzの時に伝達率のピークが来ている原因を明らかにする。今回の実験では変えていない糸電話の直径などを変えていき、音の伝わり方に影響があるものを見つける。

回転台を用いた液体の粘度の測定

川西総一郎 齊藤遼 守屋友貴 早川梨乃

指導者：佐々木和憲

要 旨

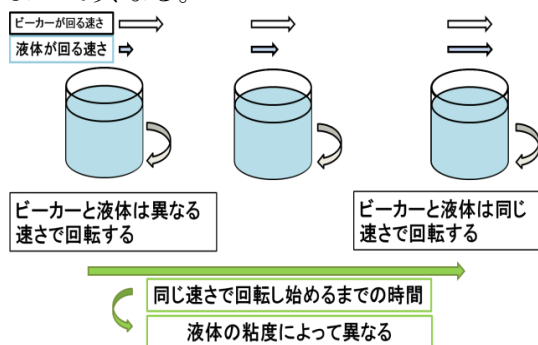
本研究ではビーカーに入った液体を回転させたとき、ビーカーの中に入った液体が剛体回転を始めるまでにかかる時間が液体の粘度によって異なることを利用して粘度の分からない液体の粘度を測定した。その結果、大まかな粘度を求めることができた。

The viscosity of an unknown liquid was measured by using the differences over time to reach rigid body rotation in this experiment. As a result, we could measure the viscosity, but it was not very exact. When the beaker which contains liquid was rotated, at first, the beaker and the liquid moved with different angular velocities, but gradually they moved with the same angular velocity. The time that the water and the beaker need to start rotating at the same speed depends on the viscosity of the liquid in the beaker.

キーワード：剛体回転，粘度

1. 序論

液体の入ったビーカーを回転台に乗せて回転させると、初めの数十秒間ビーカーと中の液体は異なる角速度で回転する。しかし、しばらくすると同じ角速度で回転し始める。これを液体が剛体回転するという。また、液体が剛体回転し始めるまでの時間はビーカー内の液体の粘度によって異なる。



2. 目的

グリセリンとエタノールが剛体回転し始めるまでの時間をグラフにまとめ、剛体回転し

始めるまでの時間から、粘度を求めることができるかどうか検証する。

3. 実験

- (1) 異なる粘度のグリセリン，エタノールを用意し，それぞれの液体について各濃度で剛体回転を始めるまでにかかる時間を測定する。
- (2) (1)で測定したデータを基にグラフを作成する。
- (3) (2)で作成したグラフを基に，剛体回転し始めるまでの時間から，液体の粘度を求めることができるか検証する。

*時間の測定方法

- ① 円を直線で24等分した紙を回転台の中心に貼り付ける。(図1)
- ② ガムテープで作成した目印を液体に浮かべ①で貼り付けた紙の上で回転させる。(図2)，(図3)

- ③ 真上から液体が回転する様子をタブレット PC で撮影する。
- ④ ③で撮影した動画を見ながら、ストップウォッチで液体が剛体回転し始めるまでの時間を測定する。
- * この時、回転台が5回転する間に15度以上印が移動しなくなった時点で剛体回転し始めたとする。また、5回転の始めの時点の時間を測定値とする。

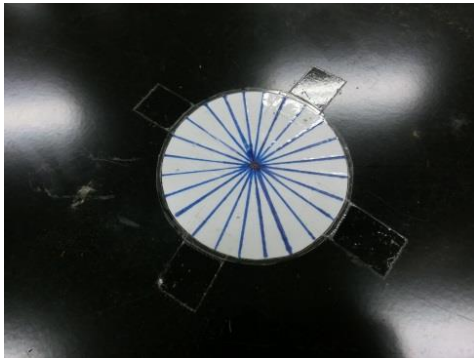


図1 24等分した円



図2 グリセリンに浮かべた印

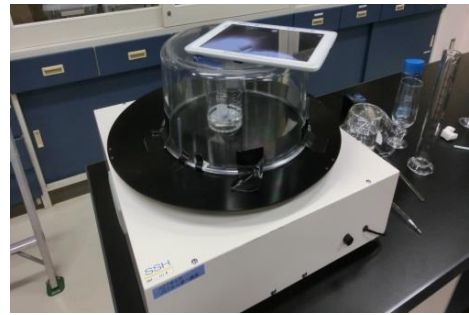


図3 ビーカーを回す様子

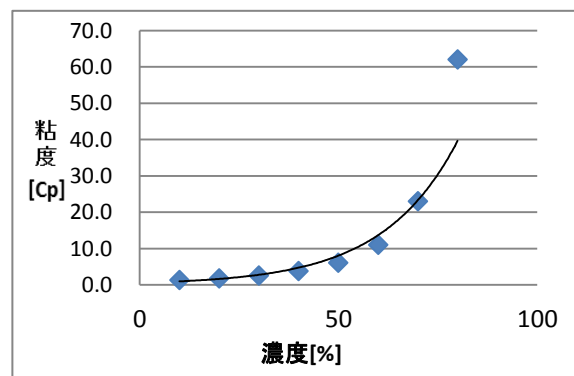
4. 結果

表1 グリセリンの粘度と剛体回転を始めるまでの時間 1)参考文献より一部引用

| 粘度[Cp] | 1回目 | 2回目 | 3回目 | 4回目 | 5回目 | 平均 |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| 1.3 | 40 | 38 | 38 | 37 | 37 | 38 |
| 1.8 | 32 | 32 | 31 | 33 | 30 | 32 |
| 2.5 | 31 | 34 | 26 | 28 | 28 | 29 |
| 3.8 | 22 | 21 | 21 | 20 | 21 | 21 |
| 6.1 | 15 | 16 | 16 | 16 | 17 | 16 |
| 11.0 | 8 | 12 | 9 | 10 | 7 | 9 |

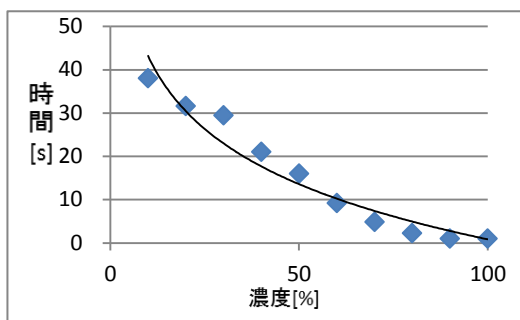
表2 エタノールの粘度と剛体回転を始めるまでの時間 1)参考文献より一部引用

| 粘度[Cp] | 1回目 | 2回目 | 3回目 | 4回目 | 5回目 | 平均 |
|--------|------|------|------|------|------|------|
| 1.5 | 25.0 | 31.0 | 25.0 | 29.0 | 28.0 | 27.6 |
| 2.2 | 20.0 | 22.0 | 22.0 | 23.0 | 24.0 | 22.2 |
| 2.7 | 18.0 | 23.0 | 23.0 | 24.0 | 21.0 | 21.8 |
| 2.9 | 19.0 | 21.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 |
| 2.9 | 17.0 | 22.0 | 22.0 | 21.0 | 22.0 | 20.8 |
| 2.8 | 22.0 | 17.0 | 21.0 | 18.0 | 17.0 | 19.0 |

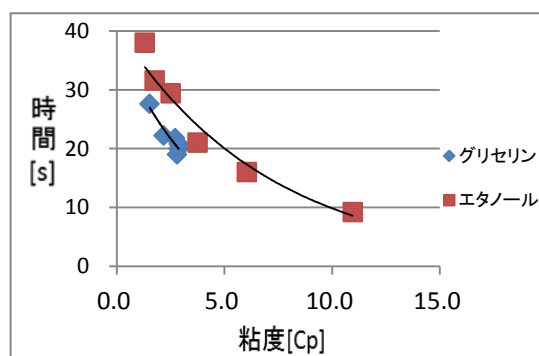


グラフ1 グリセリンの濃度と粘度の関係

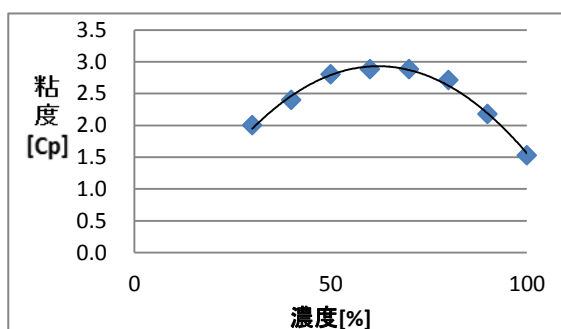
1)参考文献のデータをグラフ化したもの



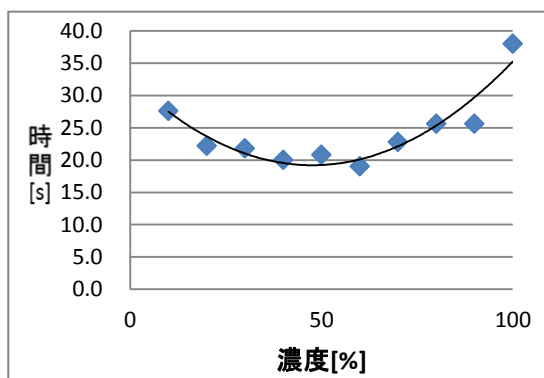
グラフ 2 グリセリンの濃度と剛体回転を始めるまでの時間



グラフ 5 グリセリン、エタノールの粘度と剛体回転を始めるまでの時間



グラフ 3 エタノールの濃度と粘度の関係
1) 参考文献のデータをグラフ化したもの



グラフ 4 エタノールの濃度と剛体回転を始めるまでの時間

グラフより、グリセリンもエタノールも粘度が大きくなると剛体回転するまでにかかる時間が短くなることがわかる。またグラフ 5 より、同じ粘度でグリセリンが剛体回転し始めるまでの時間とエタノールが剛体回転し始めるまでの時間は近いと分かる。

5. 考察

結果より、剛体回転をするまでの時間を測ることで、大まかな粘度を知ることができると考えられる。

しかし今回得られたデータからは、正確な粘度を求めることはできない。この理由としては時間の測定方法の精度が不十分なためではないかと考えられる。

6. 参考文献

- 1) 社団法人日本化学会：化学便覧基礎編Ⅱ. 丸善株式会社, pp. 512-513

水中における2球の落下運動

木村茉由子 田辺理帆 百武瑞貴 森明日香
指導者：益田史郎 白神陽一郎

要旨

水中で2球を鉛直に並べて落下させ、その運動を観測した結果、後を追う球が先行する球を追い越した後、2球が接近したり離れたりを周期的に繰り返しながら落下していくという現象が確認された。

The falling motion of two balls dropped in the water was studied. They were lined up vertically and was released gently. As a result, after the later ball passes the former one, a phenomenon which two balls approaches and spreads (getting closer and farther) in a cycle were observed.

キーワード:流体, スリップストリーム, 落下, 鉛直, 周期的

1. 序論

倉敷天城高等学校の課題研究では、流体抵抗を扱ったものが毎年行われている。以下にこれらをまとめる。

<先行研究>

①【水の流体抵抗の測定方法の考察とその検証】2013年(先行研究①)

ビデオ映像の解析により、水の流体抵抗を測定することに成功し、速度の小さい領域で、ストークスの抵抗法則を検証することに成功した。また、速度の大きい領域との間で、流体抵抗が減少することを検証することに成功した。

②【物体の横揺れが流体抵抗に与える影響について】2014年(先行研究②)

先行研究①に加えて、ニュートンの抵抗法則を検証することに成功した。また物体の横揺れが流体抵抗に影響を及ぼすことが明らかになった。

③【空気中で軽い2物体がふるまう奇妙な落下運動】2015年(先行研究③)

空気中で、軽い2物体を水平に近づけて並べ落下させた結果、2物体はお互いに最初は接近しながら落下し、そして衝突することなくお互いに離れながら落下する様子が確認され、空気に粘性の概念を導入することで説明できることが明らかになった。

ここでスリップストリームについて考える。スリップストリームとは運動している物体の真後ろやその近辺で前方の運動している物体が空気を押し上げた分、気圧が下がり、空気抵抗も通常より低下した状態となる現象のことである。

先行研究の結果を基に、2球を鉛直に並べて、同時に落下させ、球Ⅰが球Ⅱにどのような影響を及ぼすか、ということに興味を持った。そこで、2球を落下させると、スリップストリームが、球Ⅱに影響し、球Ⅰに接近しながら落下し、最終的には、衝突するのではないかという仮説を立てた。また、球Ⅰ、Ⅱは横揺れの現象を起こし、流体抵抗も増減を繰り返すので、球Ⅰに追

いついた球Ⅱは、球Ⅰの振動の影響を受けて振動するだろうという仮説を立て、以下の研究を行った。

2. 研究内容

<準備物>

プラスチック球 16mm φ・1.11 g/cm³の球 (図1), 2mの筒 (図2), ハイスピードカメラ, 23°Cの水, 水平器, 温度計, 撮影装置 (図3)



図1. プラスチック球実
験用フック付き 16mm φ

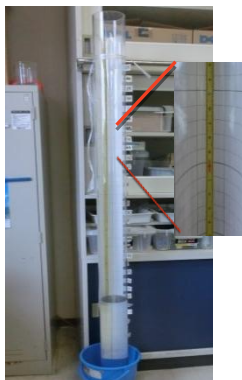


図2. 筒



図3. 撮影装置

<実験方法>

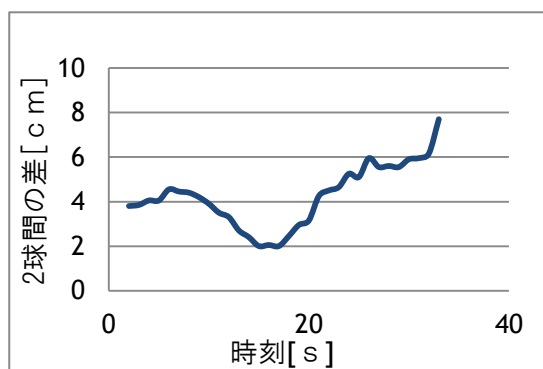
- ①筒に 23°Cの水を入れ, 水平器を用いて筒を鉛直方向に設置する。
- ②2個のプラスチック球を, 糸で繋げて落下させ, 落下の様子をハイスピードカメラ

で撮影する。

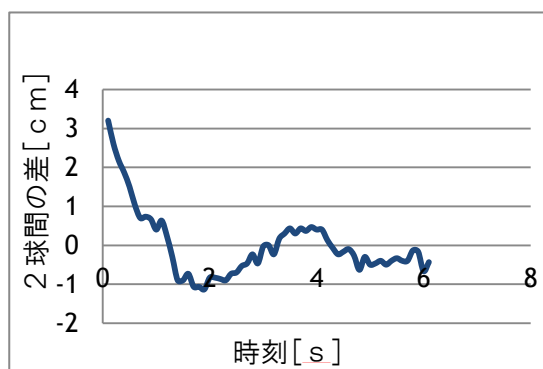
- ③ビデオ解析を基に x - y 座標を求める
- ④2球をつなぐ糸の長さを 3.5, 4.0, 4.5, 5.0 cmに变更后各 5 回行う。

<結果>

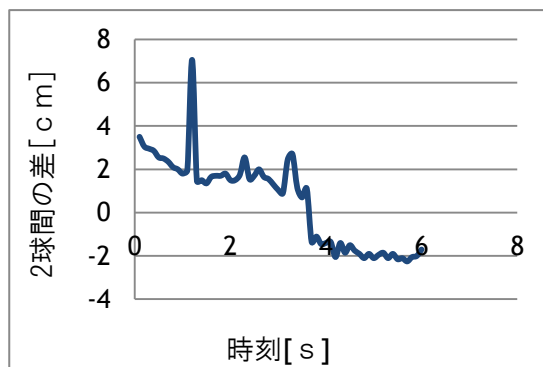
各時刻における, 球Ⅰと球Ⅱの鉛直成分と, 水平成分の位置の差を求めて, グラフ1~8を得た。



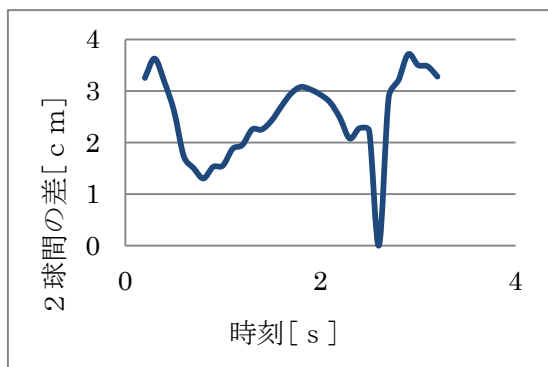
グラフ1 y 軸(鉛直)方向 3.5cm



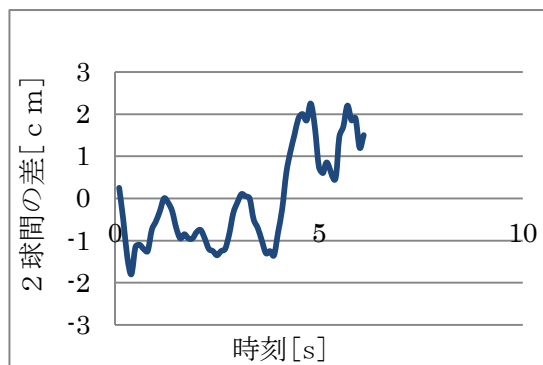
グラフ2 y 軸(鉛直)方向 4.0 cm



グラフ3 y 軸(鉛直)方向 4.5 cm

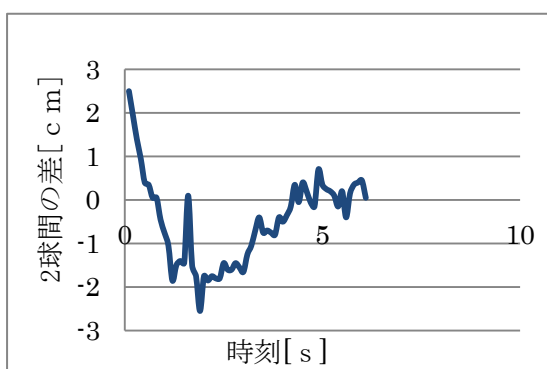


グラフ 4 y 軸(鉛直)方向 5.0 cm



グラフ 8 x 軸(水平)方向 4.0 cm

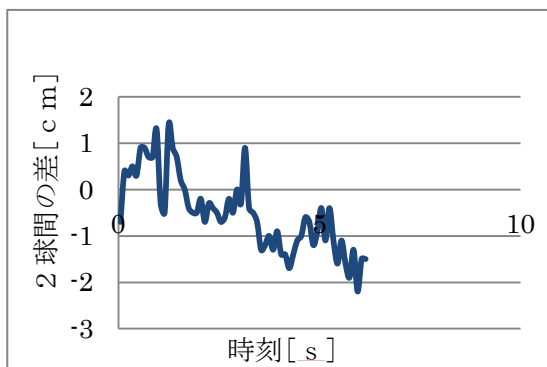
グラフの分析からある程度時間が経過すると、鉛直方向について、球Ⅱが球Ⅰを追い越した後、水平成分、鉛直成分ともに2球は接近したり離れたりを繰り返すことが明らかになった。



グラフ 5 x 軸(水平)方向 3.5 cm

3. 考察・結論

先行研究③より、 x 軸の振動について、球Ⅰの作る流れによって球Ⅱが引き寄せられる現象によると考えられる。先行研究②より、 y 軸について、スリップストリーム現象により球Ⅰ・Ⅱが接近し、その後は球Ⅰ・Ⅱに生じた横揺れが流体抵抗に与えた現象と考えられる。

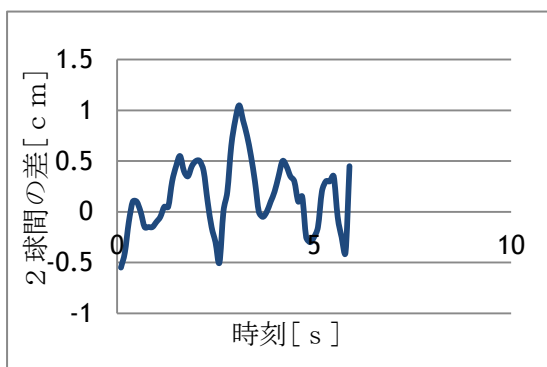


グラフ 6 x 軸(水平)方向 4.0 cm

4. 今後の課題

今回用いた細い筒は振動が伝わりやすいと思われるため、十分に大きい水槽などを使う。また、データ量を増やし、2球間の距離を変える。

さらに、金具と糸が実験に影響を与えている可能性もあるため、次回は金具と糸を用いず同様の実験を行いたい。



グラフ 7 x 軸(水平)方向 4.5 cm

***謝辞**

本研究に当たり，流体抵抗に関わった倉敷天城高校理数科の先輩方の研究を参考にさせていただきました。貴重な資料を残してくださった先輩方にこの場を借りて，御礼申し上げます。

5. 参考文献

- ①岡山県立倉敷天城高校：理数科収録第 13 号(2013)
- ②岡山県立倉敷天城高校：理数科収録第 14 号(2014)
- ③岡山県立倉敷天城高校：理数科収録第 15 号(2015)

アルミホイルを用いた電磁誘導式床発電装置の開発

田中佑弥 坪井星那 濱西浩平 森下誠大 池上真菜

指導者：仲達修一

要 旨

床発電の発電方法において、一般的によく使われている圧電素子ではなく身近にあるアルミホイルを用いた電磁誘導を利用した床発電装置を開発した。その結果、多くのアルミホイルが必要となるが、発電が可能であることが確認できた。

In this experiment an attempt was made to develop an electromagnetic induction-type floor-power generator using aluminum foil. Aluminum foil was used because it is more common and generally often used in power generation. As for the result, the experiment showed that it is possible to generate power using aluminum foil. However, it was also observed that more aluminum foil is needed to generate more power.

キーワード：電磁誘導， 床発電， 圧電素子

1.序論

私たちは、床発電に興味を持ち調べたところ多くの場合圧電素子が使われていることを知った。そこで圧電素子ではなく電磁誘導で発電することはできないかと考えた。一般的なコイルを用いた発電ではかさばるため床発電に適していない。そこで身近にあるアルミホイルを用いて床発電に適したコイルを作ることが出来ないのかと考え、研究することにした。

アルミホイルを使うことによりコイルの幅を薄くすることが出来る。また、導線を使うよりも低コストでコイルを作成することが出来ると考えた。

2.研究内容

(1)コイルの作成

アルミホイルを縦2cm，横200cm切り取り，円のように巻いていく(図1)。

これを10巻したものに不導体のOHPフィルム(縦2cm，横7cm)を両面テープで張り付ける。

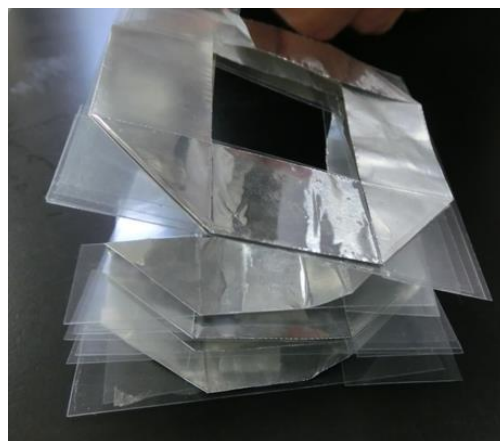


図1 アルミホイルで作ったコイル

実験

<目的>

電流センサーと電圧センサーを用いて計測を行い、公式 $P = I \cdot V$ を用いて電磁誘導で発生した電力を求める。

<器具>

アルミホイルコイル、ネオジウム磁石 (1cm 離して 35mT)、(株) ナリカ製の Easy-Sense の電流センサーと電圧センサー

<実験方法>

アルミホイルコイルを水平な机の上に置き、コイルの中央に磁石を通し電流センサーと電圧センサーを使って電圧と電流の平均値をとる。それぞれの値を $P = I \cdot V$ の式に代入し、電力を調べる。

<結果>

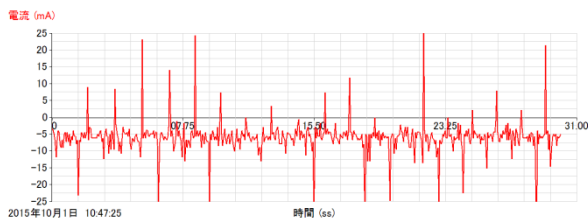


図 1 電流センサーによる電流の測定結果
(縦軸：電流 [mA] 横軸：時間 [s])

このグラフより大きなずれを省いて平均したところ抵抗が 10Ω の時、電流は 22.0 mA になった。

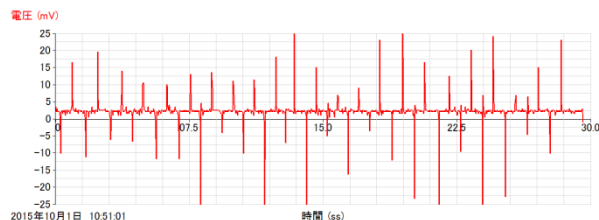


図 2 電圧センサーによる電圧の測定結果
(縦軸：電圧 [mV] 横軸：時間 [s])

このグラフより大きなずれを省いて平均したところ抵抗が 10Ω 時、電圧は 22.5 mV になった。

$$P = IV = V/R \times I = I^2/R \text{ より}$$

$$P = (22.5 \times 10^{-3})^2 / 10 = 506.25 \times 10^{-7} = 5.06 \times 10^{-5} [\text{W}] \approx \underline{5.1 \times 10^{-5} [\text{W}]}$$

$$P = IV = I \times RI = RI^2 \text{ より}$$

$$P = (22.0 \times 10^{-3})^2 \times 10 = 484.00 \times 10^{-7} = 4.84 \times 10^{-5} [\text{W}] \approx \underline{4.8 \times 10^{-5} [\text{W}]}$$

とほぼ類似した。

(2) 床発電装置の作製

作成したアルミホイルコイルをクッションの中に入れてクッションを踏むことによって発電することができるようにする。

板にアルミホイルコイル 32 個を 4 段に重ね並べる。

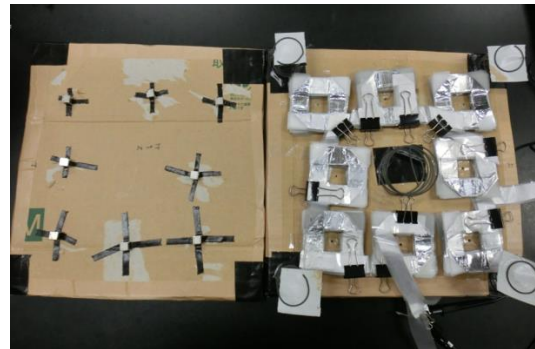


図 2 装置内部

アルミホイルコイル同士は接触抵抗を小さくするためアルミホイルの導線を作りつけた。

磁石を移動させるために板に磁石をつけ間にバネを挟み、それをクッションの中に入れる。



図3 クッション型発電機

クッション型床発電機が完成し、電圧が発生することが確認できたが、LEDを光らせるには至らなかった。

(3) 考察

1つで約 5.0×10^{-5} [W]程度取り出すことができたので、私たちが光らせようと思っていたLED (0.49W) を光らせるには約10000個のアルミホイルコイルが必要であることが分かった。

3. 結論と課題

この研究で発電が可能であることは確認できたが、LEDライトを光らせるには多くの電力が必要なため、かなりの数のコイルが必要なことが分かった。

今後の課題は、実際の座布団の中に入れた装置で、どの程度の電力が発生するかを正確に測定することである。また、LEDを光らせることを目標としたい。

4. 参考文献

・ 國友正和 (他) : 物理教科書 : 数研出版株式会社, p. 294 (2014)

発光バクテリアの発光条件の制御

北浜駿太 小野尾俊介 清板誉史 芳賀円香
指導者：藤原一郎 大橋崇

要旨

現在使用されている蛍光灯や電球などは光だけでなく熱を多く発生するため、エネルギーが無駄になっている。そこで、熱をほとんど発生しない発光である生物発光ならば、エネルギー効率の高い照明になると考えられる。本研究では、最終的に発光デバイスを作製することを視野に入れて、発光生物の中でも、イカと共生していて入手が容易で培養が可能な発光バクテリアを用いて、発光の制御を試みた。その結果、酸素や電解質に対する発光の変化を明らかにすることができた。

The lightings used nowadays are not efficient in terms of energy because they emit so much heat. On the other hand, bio-luminescence can be an efficient lighting device because they emit little heat. In this research, the author attempted to control the bacterial bio-luminescence and tried to develop a lighting device using bio-luminescence. Luminous bacteria were used because they coexist with squids and they can be easily cultured. As a result, relationships between oxygen or electrolytes and luminescence were proved.

キーワード：化学発光，発光バクテリア

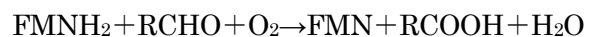
1. 序論

発光生物にはホタル、ホタルイカ、ヤコウタケなど多くの生物が含まれる。その中でも発光バクテリア (photobacterium 属, vibrio 属に属する生物の一部の総称) はイカと共生しているため入手が比較的容易である。発光バクテリアを含む発光生物の発光は一般に化学発光であり、物理的な発光現象に比べてエネルギーの光への変換効率が高いことが知られている。本研究では、最終的に生物発光を利用した発光デバイスを作製するための最初の試みとして、発光バクテリアをイカから採取、継代培養したのち、発光条件を調査した。

Leo Yen Cheng Lin, Edward A. Meighen らの報告によると、発光バクテリアの発光は、ルシフェリン-ルシフェラーゼによる酵素基質反応・酸化還元反応であり、さらに補酵素として FMN (フラビンモノヌクレオチド) が関与することが知られている。発光バクテリアのルシフェリンは炭素数 14 程度の直鎖アルデヒドであることが知られており、ル

シフェリンと FMN が酵素 (ルシフェラーゼ) の働きにより酸素によって酸化されることで発光が生じる¹⁾。

以下に、発光バクテリアの発光反応の化学反応式と発光反応の模式図を示す。



(式 1 : 発光バクテリアの発光反応¹⁾)

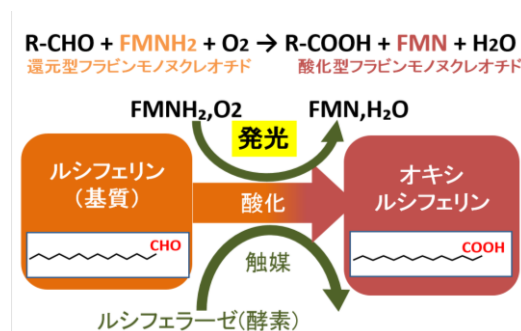


図 1 発光バクテリアの発光機構の模式図
(Leo Yen Cheng Lin, Edward A. Meighen らの報告を基に作成)

2. 研究内容

実験1 発光細菌の採取と継代培養

〈薬品・器具〉

刺身用イカ

人工海水

ディスポーループ

両刃カミソリ

クリーンベンチ

消毒用アルコール

標準寒天培地

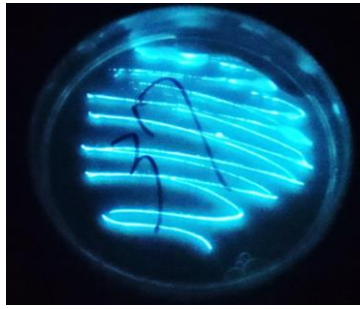


図2 寒天培地での発光の様子

〈実験方法〉

- (1) 刺身用イカを、両刃カミソリを用いて切り開き、内臓を取り出し、足をとる。
- (2) 人工海水を作製し、(1)のイカを浸し、室温で24時間静置する。
- (3) クリーンベンチ内で、イカ表面の発光しているコロニーを、ディスポーループを用いて、人工海水を添加した標準寒天培地へ植えつける。
- (4) 発光細菌を植えつけた標準寒天培地を18°Cに設定した低温インキュベーターで培養する。
- (5) (4)で培養した発光細菌を新しい寒天培地に移す。
- (6) (5)を繰り返し、発光細菌の純度を上げる。

〈結果〉

発光細菌のコロニーは、寒天培地上で約24時間発光を継続し、継代培養を重ねると48時間程度まで長くなる傾向にあった。発光を停止した細菌を新しい寒天培地に移すと再び発光を開始した。

実験2 液体培地での培養

〈目的〉

発光の照度を上げるため、細菌の個体数を大きくすることのできる液体培地で培養する。

〈薬品・器具〉

リン酸緩衝液 (Na_2HPO_4 — NaH_2PO_4 混合水溶液)

硫酸マグネシウム七水和物

塩化ナトリウム

ペプトン

酵母エキス

グリセロール

ディスポーループ

蒸留水



図3 液体培地での発光の様子

〈実験方法4〉

・リン酸緩衝液の作製

- (1) 蒸留水 100mL に NaH_2PO_4 を 2.70g 溶かす。
- (2) 蒸留水 100mL に Na_2HPO_4 を 7.16g 溶かす。
- (3) NaH_2PO_4 水溶液 15mL と Na_2HPO_4 水溶液 85 mL を混ぜる。

・液体培地の作製

- (1) 攪拌しながら、蒸留水 950mL に、リン酸緩衝液 50mL、硫酸マグネシウム七水和物 0.20g、塩化ナトリウム 30g、ペプトン 5.0g、酵母エキス 3.0g、グリセロール 3.0mL を溶かす。
- (2) オートクレーブにかけて滅菌する。

・液体培地への植菌

- (1) 滅菌した液体培地をクリーンベンチ内で 25mL ずつに分ける。
- (2) 寒天培地で培養を繰り返し、純度を高めた発光細菌のコロニーをディスポーループで採取する。
- (3) 採取した発光細菌を液体培地へ入れ、18°Cに設定した低温インキュベーター内で振盪培養する。

・イカ煮汁培地の作製

上記の液体培地のほかに、イカの煮汁に人工海水を添加し、オートクレーブにかけたイカ煮汁培地を作成し、同様に培養を行った。

〈結果〉

継代培養の回数が少ない純度の低い発光細菌のコロニーを液体培地に植え付けても発光は確

認できなかったが、継代培養を 20 回ほど繰り返したものでは確認できた。培地を静止させた状態では、発光はわずかし確認できないが、培地を撈拌すると、発光が促進され、寒天培地より強い発光が確認できた。

発光は液体培地でもイカ煮汁培地でも確認され約 24 時間継続したが、寒天培地と異なりその後急速に発光が弱まった。

〈考察〉

培地を撈拌することで発光が促進されることや、静止した状態での発光はわずかなことから、液体培地中の酸素濃度が発光の度合いに影響していると考えられる。

実験 3 発光バクテリアの冷凍耐性

〈実験〉

発光バクテリアの冷凍耐性を調査するため、発光バクテリアを採取する前のイカを 2 杯、発光バクテリアを植え付けた寒天培地を 4 つ冷凍し、発光が再現できるかを調査した。

〈結果〉

冷凍したイカから採取した発光バクテリアと培地に培養したバクテリアは、ともに発光が再現できたが、継代培養を重ねると死滅した。

〈考察〉

発光バクテリアには冷凍への耐性が認められたが、冷凍により細胞がダメージを受け死滅したと考えられる。

実験 4 酸素を添加した時の発光強度の変化

〈実験〉

実験 2 で液体培地を空気と振り混ぜると発光強度が大きくなったことから、酸素が関係していると考え、液体培地に酸素ボンベで酸素を送り込んだ。

〈結果と考察〉

酸素を曝気すると、発光強度は大きくなった。よって、酸素が発光バクテリアの発光反応の制限要素になっていると考えられる。

実験 5 電解質を変化させた時の発光の変化

〈目的〉

培地に加える電解質を変化させ、人工海水や NaCl 以外の電解質を添加した時について、発光強度がどのように変化するか調査する。

〈薬品〉

実験 1, 2 で調製した寒天培地、液体培地に、人工海水や NaCl の代わりに以下の電解質を添加し、発光の有無を調べる。

Na₃PO₄

NaH₂PO₄

Na₂HPO₄

Na₂SO₄

NaNO₃



〈実験〉 図 4 電解質を添加した培地

各電解質を 3% (海水の塩分濃度) 添加した寒天培地を各 10 個、液体培地各 3 個作製し、発光バクテリアを植え付けた。

〈結果〉

約 24 時間経過後、すべてに発光が確認できたものを+, すべてに発光が確認できなかったものを-, 一部のみが発光していた、もしくはごく弱い発光が確認できたものを±とした。なお、Na₃PO₄は塩基性が強く寒天培地が変質したため、液体培地での実験は行わなかった。

表 1 電解質を変化させた時の発光

| 電解質 | 寒天培地 | 液体培地 |
|----------------------------------|------|------|
| No electrolyte | — | — |
| Artificial Seawater | + | + |
| Na ₃ PO ₄ | — | — |
| NaH ₂ PO ₄ | ± | — |
| Na ₂ HPO ₄ | + | — |
| Na ₂ SO ₄ | + | + |
| NaNO ₃ | ± | ± |
| NaCl | + | + |

〈考察〉

発光バクテリアの培養における電解質は NaCl や人工海水である必要はなく、Na₂SO₄ などでも培養が可能であることが明らかになった。弱酸の塩である NaH₂PO₄ や Na₂HPO₄ では発光が比較的起こりにくかったことから、電解質による差は、pH の違いなどに起因していると考えられる。本実験では陽イオンをナトリウムにそろえて実験を行ったが、陰イオンを固定して陽イオンを変化させる実験も行っていきたいと考えている。

実験 6 基質となる物質を添加した時の発光の変化

〈目的〉

発光バクテリアの発光には炭素数 14 程度の直鎖アルデヒドが関与しているので、その物質を添加することで発光が変化するのではないかと考えた。

〈実験〉

電解質として NaCl, Na₂SO₄ 液体培地で培養した発光バクテリアに以下の物質を数滴添加し、発光の変化を観察した。

- ・アセトアルデヒド CH₃CHO

仮説：アルデヒド基をもつので発光に関与する。

- ・ラウリルアルコール C₁₂H₂₅OH

仮説：空気中の酸素によりわずかに酸化されて生じたラウリルアルデヒド C₁₁H₂₃CHO が発光に関与する。

〈結果と考察〉

・アセトアルデヒドを添加すると、いずれの培地においても発光が促進されるどころか発光が停止した。これは、分子が酵素と反応するには小さすぎて反応せず、単に毒素として働いたためと考えられる。

・ラウリルアルコールを添加すると、発光の持続時間が長くなった。これは、ごく一部が空気中の酸素により酸化されてラウリルアルデヒドとなり、発光に関与したためと考えられる。

実験 7 発光強度を定量的に測定する装置の製作

〈目的〉

これまでの実験では発光しているか、していないかの判定は暗室にて目視で行っていた。そこで、定量的な測定を行うことを考えた。

〈装置の作製〉

太陽電池式電卓から取り出した太陽電池を 4 つ直列に接続して出力電圧を大きくし、黒画用紙を用いて遮光した箱の底面に設置した。太陽電池の両端子に電圧計を接続して試料を中に入れ、上からふたを被せることで出力電圧を測定し、発光強度を測定できるようにした。

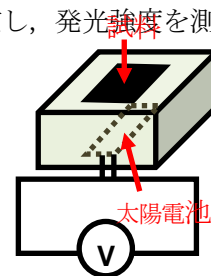


図 5 自作の発光測定装置の実体図と模式図

〈実験〉

暗室において測定装置中の太陽電池の真上にプレート培地や液体培地を置き、さらにふたを被せ、測定装置内をできる限り暗くした状態で出力電圧を測定した。(これをバックグラウンドとする) 次に、装置内に試料を入れた状態で出力電圧を測定し、バックグラウンドを引いた値を測定値とした。

〈結果〉

8 つの寒天培地培地、3 つの液体培地について測定を行った。測定の結果、バックグラウンドの値は 4mV であった。

表 2 発光強度の測定

| 番号 | 寒天培地電圧[V] | 液体培地電圧[V] |
|----|-----------|-----------|
| 1 | 0.27 | 0.11 |
| 2 | 0.42 | 0.12 |
| 3 | 0.27 | 0.060 |
| 4 | 0.14 | |
| 5 | 0.19 | |
| 6 | 0.32 | |
| 7 | 0.16 | |
| 8 | 0.41 | |

測定値は揺らぎが大きいので、有効数字3桁より下の位は考慮しなかった。その結果、バックグラウンドの4mVは測定値の精度に比べ小さくなったため、無視した。

〈今後の展望〉

太陽電池を4つ直列にしたことで、自作の装置は微弱な光でも測定できた。今後は様々な条件を変化させたときの発光バクテリアの発光強度を定量的に測定し、比較を行うのに役立てていきたいと考えている。

3. 結論

液体培地での培養には、寒天培地での継代培養を繰り返し行い、発光バクテリアの純度を十分に高めることが重要であると考えられる。約24時間で発光が停止することについては、栄養分の不足や、ほかの微生物の増殖が原因であると推察される。

発光条件の点では、まず酸素が発光反応を制限している物質であり、酸素を供給すると発光が促進されるということが明らかになった。また、電解質はNaClや人工海水に限らず、Na₂SO₄などでも発光が実現できることが明らかになった。基質として炭素数の多い直鎖アルコールを加えると、一部が酸化されてアルデヒドとなり発光に関与することが示唆された。

4. 今後の展望

1つ目に、電解質の添加実験では陰イオンの場合しか行わなかったため、電解質の陽イオンを変化させたときの発光の変化について調査したいと考えている。2つ目に、自作の発光強度測定装置を実際に発光強度の定量的な比較に利用したいと考えている。最後に、究極的な目標である発光バクテリアを利用した発光デバイスの作製のために、発光バクテリアのルシフェラーゼを分離精製し、物質レベルで発光を制御することを考えている。

*謝辞

本研究を進めるにあたり、東京工科大学の佐々木聰先生に助言をいただきました。深く感謝いたします。

5. 参考文献・Web ページ

1) Leo Yen Cheng Lin and Edward A. Meighen: BACTERIAL BIOLUMINESCENCE

2) Yuichi Sato: Oscillation in Bioluminescence Intensity and Molecular Mechanism for the Modulation of Bacterial Luciferase by Lumazine Protein, LumP

3) PHOTOBIOLOGICAL SCIENCES ONLINE :<http://www.photobiology.info/Lin.html> (accessed on July 1, 2015)

4)http://www.geocities.co.jp/Technopolis-Mars/4845/b_baiti1.html (accessed on July 1, 2015)