

理数科 2 年次生実践報告

「発展研究・論文研究」の取り組み

平成 29 年度の理数科 2 年次では、総合的な学習の時間（2 単位）を「発展研究・論文研究」として、以下のような要領で計画を立て、これに基づいて実施した。

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。
- ・「発展研究・論文研究」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	創生研究(1 単位)	1 年次後期	発展研究(1 単位)
2 年次前期	発展研究(1 単位)	2 年次後期	論文研究(2 単位)

6 「発展研究・論文研究」校内発表会の日程と形態

第 1 回(研究評価, 口頭発表 8 テーマ)

- ・日 時 平成 29 年 10 月 4 日(水) 13:50 ~ 15:30
- ・会 場 岡山県立倉敷天城高等学校
- ・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 7 分

第 2 回(研究評価, 口頭発表 8 テーマ) (第 15 回高大連携理数科教育研究会・第 18 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 29 年 12 月 20 日(水) 13:50 ~ 15:30
- ・会 場 岡山県立倉敷天城高等学校
- ・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 8 テーマ, 1 年生 2 年生交流会)

- ・日 時 平成 30 年 1 月 24 日(水) 12:55 ~ 15:30
- ・会 場 岡山県立倉敷天城高等学校
- ・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 29 年度 第 15 回高大連携理数科教育研究会 第 18 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(ステージ発表 2 テーマ, ポスター発表 8 テーマ)

- ・日 時 平成 30 年 2 月 3 日(土)
- ・会 場 岡山大学創立五十周年記念館

平成29年度「発展研究・論文研究」報告

【物理分野】

1. どこでも発電

杉本優友 大山航 栗木原正和 中村はな 藤原仁志 pp. 3-7

2. 回転球と無回転球の着水時の空気の巻き込まれ方の違いの解明

佐藤海斗 斎藤優 小林佑資 柏野桃香 鈴木道裕 pp. 8-10

3. 空気中での2球の落下運動

尾釜直樹 谷口理啓 豊住勇治 横溝剛 平田葉菜 藤川亜也 安原未来香 pp.11-14

【化学分野】

4. デンプンに含まれるアミロペクチンの含有量の比較法

小野大樹 亀岡俊貴 筒井達也 小原茉純 pp.15-18

5. 果実に含まれるタンパク質分解酵素群の効果

重本美琴 高橋穂乃佳 長谷紅葉 花巻陽菜 若林里栄 pp.19-22

【生物分野】

6. オオキンケイギクの繁殖原因と抑制手段

高淵大斗 高尾肯輝 溝口大樹 中村真理亜 中山愛友 pp.23-28

7. 線虫に対する対抗植物の誘引作用および殺虫作用の定量法

魚住颯 増成悠政 山下巨人 草野遥香 pp.29-33

【数学・情報分野】

8. 災害時における高校生の心理と行動の特性尺度の作成

藤井昂 三宅俊輔 村原大樹 山口晃弘 pp.34-36

指導教員

益田史郎(物理) 清水逸生(物理) 筒井愛知(物理) 白神陽一朗(物理)

藤井俊哉(化学) 小延靖史(化学) 大橋崇(化学)

浅原芳弘(生物) 岩永廣子(生物)

高島定幸(数学) 守安貴史(情報)

ティーチングアシスタント

Yakubu Abdallah

どこでも発電

杉本優友 大山航 栗木原正和 中村はな 藤原仁志
指導者 清水逸生 白神陽一朗 筒井愛知 仲達修一 益田史郎

要旨

太陽光パネルでの発電量の不安定さを改善するために、本研究では、圧電素子を用いた、雨粒と雨樋と水流での発電方法の開発とそれぞれのエネルギーの変換効率の調査及びその有用性の比較を目的に行った。その結果、雨粒の実験では、雨粒1粒の運動エネルギーが大きければ、より効率良く発電できることが分かった。雨樋実験では、水を滴下する手法で、かつ位置エネルギーがある程度小さい方が、発電効率が上がるということが分かった。水流実験では、水流の運動エネルギーが小さい地点での発電が、効率よく発電が行えると考えられる。変換効率は、水流での発電が一番良いと判明した。また、それぞれの実験で、発電量の試算を行った。

The purpose of the study is to invent new electrical generators which use raindrop, trough and water flow and to compare with conversion efficiency. In this study, we used piezoelectric elements. As a result, all of them can generate somewhat electricity. In the raindrop experiment, it was found that the higher kinetic energy of the raindrop is, the more the conversion efficiency rises. In the trough experiment, it turned out that we should transform water into drop and the less the potential energy is, the more efficient we can generate electricity. In the water flow experiment, we discovered that we can get more electricity when you install the generator where the kinetic energy is lower. Compared with all experiments, we can generate electricity more efficiently in the way that we use water flow. In addition, we calculated electric power generation in each experiment.

キーワード：圧電素子，雨，水流，エネルギー，変換効率

1. 序論

本研究では、圧電素子を用いて、雨天時に発電する装置を作成し、それぞれの発電方法の有用性を、エネルギーの変換効率の観点から調査することを目的とした。

圧電素子は、素子にかかる圧力や、それに伴う素子の変形により発電する素材である。通常、素子に力が加わっていない時、素子内の電荷のバランスは保たれており、電流は発生しない。素子に力が加わると、素子内の電荷に偏りが生じて、電流が発生する。この仕組みを用いて、本研究を行った。

また、圧電素子にはモノモルフ型、バイモルフ型、積層型の三種類の型が存在する。今回は、素子の

振動によって発電する、バイモルフ型の圧電素子を用いた。

本研究では、雨粒、雨樋、水流に注目した。雨粒での発電は、屋根やビルの屋上にできるだけ多くの圧電素子を設置することができれば、効率の良い発電が可能となり、多くの発電量が得られると考えて、雨粒の質量を変えて実験を行った。

雨樋での発電は、雨が樋に集約されて、一定時間に圧電素子に接触する雨量が増加するので、振動回数が増加し、発電に適していると考え、一回に流す水量を変えて、実験を行った。

水流での発電は、水道管のような恒常的に水が流れる場所に設置すれば発電が可能であると考え、圧電素

子に接触する際の流速を変えて実験を行った。

2. 実験

<主な準備物>

- ・バイモルフ型圧電素子(13mm×25mm)
 - ・オシロスコープ(抵抗 $1.0 \times 10^7 [\Omega]$)
- (実験1) 雨粒の落下シミュレーション実験

<準備物>

- ・墨汁・マイクロピペット
- ・プラスチック破片

<実験方法>

文献より雨粒は、10m落下した時点ではほぼ終端速度に達していると分かったので雨粒を高さ 10mの地点から落下させた。

- ①プラスチックの破片とマイクロピペットを用いて、高さ 10m から水滴を 1 滴落下させた。(図1)
- ②落下してきた雨粒が、地面に設置された圧電素子に接触したときの電圧の波形を、オシロスコープを用いて測定した。
- ③②でのオシロスコープの波を、カメラを用いて撮影した。
- ④水滴の大きさを 1.5~2.5 mmの間で 0.125 mmずつ変化させて①~③を 3回ずつ計測した。

<解析方法>

オシロスコープの波形から、発生した電力量を以下の式から算出した。

$$W = \int \frac{V^2}{R} dt \dots ①$$

(W : 電力量, V : 電圧, R : 抵抗, t : 時間)

圧電素子に加えたエネルギーと①式で求めた電力量から以下の式より変換効率を求めた。

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \dots ②$$

(圧電素子に加えたエネルギー: K , 水滴の質量: m , 速度: v)

速度はそれぞれの大きさでの水滴の終端速度を文献より引用した。

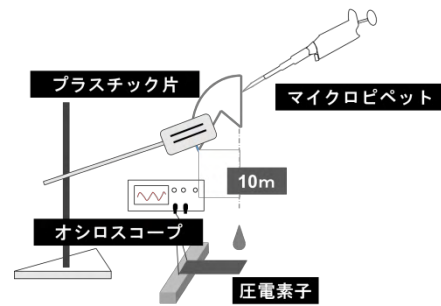


図1 雨粒落下実験

(実験2)雨樋実験その1

<先行調査>

①圧電素子 (バイモルフ) の特性調査

圧電素子は、素子の形状の変化により電圧を生じさせる素子である。特にバイモルフは、振動による歪曲での発電を主としている。よって、同じ力を与える場合、継続的に与えるよりも、断続的に与える方がより大きな電力を得ることが出来る。

②雨樋の特性調査

雨樋は、雨天時に屋根から流れ落ちた雨を一か所に集約して放出するための道具である。雨樋の地面と平行な半円状の筒を軒樋、地面と垂直な円筒を縦樋といい、軒樋から縦樋に伝わってきた水は、通常縦樋の内側の壁を伝って流れ落ちる。そこで、それらの水を、一か所に集約させる必要がある。

<準備物>

- ・雨樋 (2.5m) ・L字金具
- ・紙コップ ・ペットボトル

<発電装置の提案①>

使い捨てコップの底をくりぬき、その中にペットボトルの先端部分を切断したものを入れる。ペットボトル下部に圧電素子を設置することで、上から流れ落ちてきた雨水がコップ、ペットボトルと伝って圧電素子に接触するのではないかと考えた(図2)。

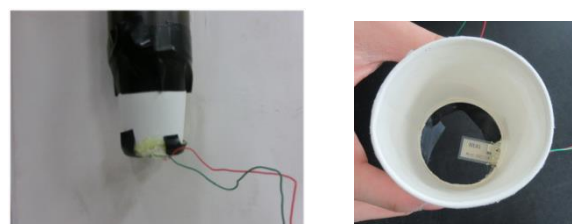


図2 発電装置①の写真

<実験方法>

- ① 雨樋の下部に、発電装置を設置した(図3)。
- ② 軒樋から水を流した時の圧電素子の電圧を、オシロスコープを用いて測定した。
- ③ 流す水量を変え、①～②を15回ずつ実施した。

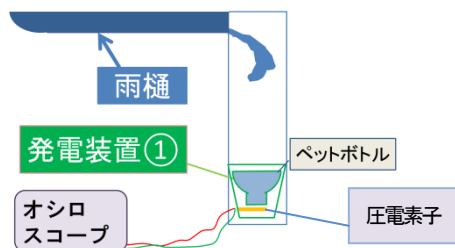


図3 雨樋実験その1

<解析方法>

圧電素子から得られた電力量 $W[J]$ は、①式を用いて算出した。

$$U = mgh \dots ③$$

(一回に流す水の質量： m 、重力加速度： g 、
雨樋の長さ： h 、
1回に流される水がもつエネルギー： U)

(実験3)雨樋実験その2

<準備物>

- ・マイクロピペットのチップ
(以下、マイクロチップと記載)
- ・アルミ板

<発電装置の提案②>

(実験2)においては、雨樋内の水を一か所に集約させたが、この発電装置は、水に雨樋を伝わせず、水滴として落下させることを試みた。その為に、マイクロチップとアルミ板を用いて、水滴が大量に落下するような装置を作成した(図4)。中心付近にマイクロチップを配置しなかったのは、圧電素子を設置する位置を、雨樋の淵に近い位置にするからである。これは、圧電素子の電極に、水滴が付着するのを抑制する働きがある。

<実験方法>

- ① 雨樋の上部に発電装置を設置した。
(図4)
- ② 装置に水を入れてから2分間の電圧を測定した。
- ③ 流す水量を変えて、①～②を3回ずつ行った。

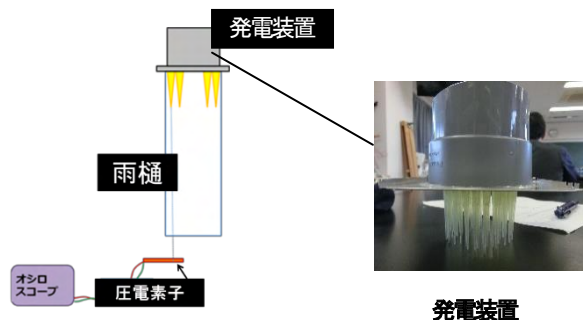


図4 雨樋実験その2

<解析方法>

圧電素子から得られた電力量 $W[J]$ は、①式を用いて算出した。

また、流される水のもつエネルギーは、③式を用いて算出した。

(実験4)水流実験

<準備物>

- ・バケツ (15L) ・ホース (3m)

《前実験》

<目的>

水流の高低差とその速さの関係を調査する。

<実験方法>

階段の高低差を利用し、2つのバケツを上方と下方に設置して、断面積

1. $15 \times 10^{-5} [m^2]$ のホースでつないだ。そして、下方のバケツに $3.00 \times 10^{-3} m^3$ (3.00L) 溜まるまでの時間を測定した。

$$V = \frac{3.00 \times 10^{-3}}{t \times 1.15 \times 10^{-5}}$$

(測定した時間： t 、水流の速さ： v)

《本実験》

<実験方法>

- ① 上のバケツから10Lの水を流した。(図5)
- ② 圧電素子が発生させる電圧を、オシロスコープを用い測定した。
- ③ ②でのオシロスコープの波を、カメラを用いて撮影した。
- ④ ①～③の手順をバケツの高低差を変えて3回繰り返した。

<解析方法>

電力量は①式を用いて求めた。

なお、圧電素子に加えたエネルギーは以下の式から求めた。

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \dots ④$$

(圧電素子に加えたエネルギー： K ，
単位時間あたりに圧電素子を通過する水流の質量： m ，速度： v)

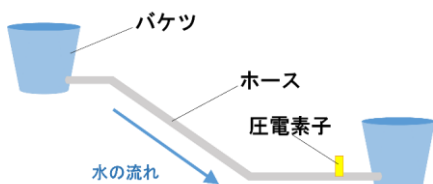


図5 水流実験

(実験5)発電量試算と有用性の比較

<実験方法>

それぞれの環境において、圧電素子に加えられるエネルギーと、実験で求めた変換効率をもとに発電量を試算した。

<取り扱った環境>

- ① 雨粒の半径 0.25cm，1日当たり降水量 24.5mm，圧電素子を 30m²に敷き詰める。
- ② 1時間当たり降水量 1.2mm
軒通面積 837cm²
- ③ 水流の速さ 0.9m/s，管の面積 100cm²

3. 結果と考察

(実験1)

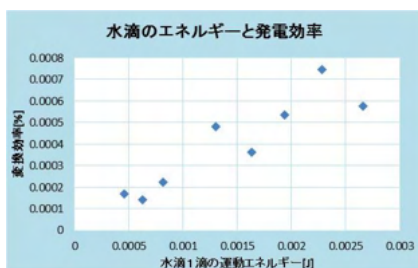


図6 実験1の結果

図6より、実験した範囲において水滴1滴の運動エネルギーが大きくなれば変換効率が高くなっている。これは、粒が大きい方が圧電素子の端へ力を及ぼしやすいからだと考えられる。実験において水滴の半径は

1.5~2.5mm の間で 0.25 mm ずつ変化させた。よって、実際の雨粒は半径 1~3 mm の大きさであるため実際の環境下においても雨粒が大きくなると効率よく発電できると考えられる。

(実験2)

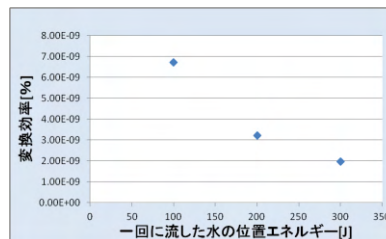


図7 実験2の結果

図7より、入力エネルギーと変換効率は負の相関関係があると判明した。これは、一度に大量の水が圧電素子に接触しても、素子の変形は限界があるので、それほど大きな発電量を得ることはできないからだと考えられる。それゆえ、実際に発電を行う場合には、一度に素子に接触させる水量を減らすように工夫する必要がある。

(実験3)

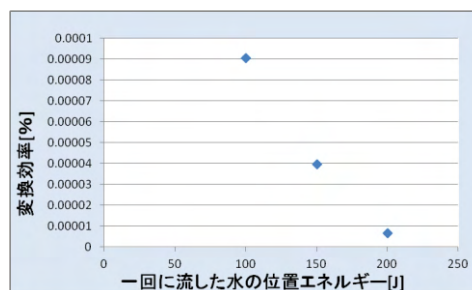


図8 実験3の結果

図8より、入力エネルギーと変換効率は、負の相関関係があることが判明した。一回に流す水量を多くすると、滴下される水滴の質量が減少するため、水量を多くすると、変換効率が下がったと推測される。また、(実験2)と比較すると、より高い変換効率となっている。これは、(実験2)とは違い、一度に圧電素子に接触する水量は減少して、圧電素子に水滴が接触する回数が増えたため、変換効率が上がったと考えられる。

(実験4)

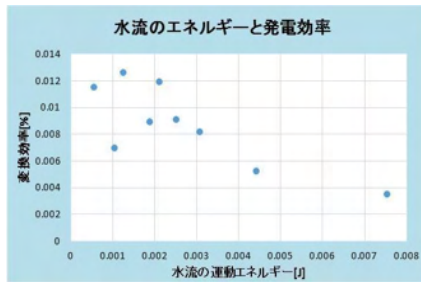


図9 実験4の結果

図9より、実験した範囲において水流の運動エネルギーが大きくなれば変換効率が低くなっている。これは、水流の運動エネルギーを大きくすると圧電素子が変形し水流のエネルギーを効率よく受け取れないからだと考えられる。

(実験5)

- ① 0.17J
- ② (実験2)・・・ $3.97 \times 10^{-9} \text{J}$
(実験3)・・・ $4.27 \times 10^{-6} \text{J}$
- ③ 1日当たり 36.3J

4. 結論と成果

今回の実験から、雨粒、雨樋、水流から、電力を得ることができた。雨粒での発電では雨粒1粒の運動エネルギーが大きければ、より効率良く発電できると分かった。雨樋での発電ではどちらの手法も、有る程度位置エネルギーが小さいとき、より変換効率が高かった。また、2つの手法の変換効率では、(実験3)の方が発電効率は高かった。水流による発電では水流の運動エネルギーが小さい地点での発電が、効率よく発電が行えると考えられる。各実験の変換効率を比較すると、水流での発電が一番効率がよいと判明した。

5. 今後の展望

今回の実験は全て、雨または水流を人為的に再現した環境下で行っているため、自然の雨、または実際の水道管に発電装置を設置して、電圧を測定したい。

(実験4)に関しては、圧電素子の形状を加工して実験を行い、発電に適した形も今後調べていきたい。

また、圧電素子から得られた電気を蓄電する方法についても模索していきたい。

本研究が進めば、雨粒、雨樋、水道管から電気を得られる発電装置を開発できると考えている。水道管を利用した水流での発電方法が確立すれば、水を大量に使用する工場などでは、工場内で、一定量の自家発電が可能となる。また、雨天での発電では、太陽光、更に風力を一体化させた発電装置を開発する。この発電装置を各家庭に設置すれば、太陽光で発電出来なかった天候での発電が可能となり、より効率の良い自家発電が実現する。加えて、その発電装置を、信号機などに設置すると、災害時の電気の供給に非常に役に立つ。更に、電気が十分に普及されていない地域でも、容易に電力を供給することが出来ると考えている。

また、家庭での圧電素子を用いた発電の例として、主にソーラーパネルが利用されているガーデンライトに応用できるのではないかと考えている。

*謝辞

本研究を進めるにあたり、株式会社リバネス様より、資金援助及び研究への助言を頂きました。ここに深謝致します。また、岡山県立倉敷天城中学校から、装置の貸与及び研究への助言を頂きました。ここに感謝の意を表します。

6. 参考文献

- 1) 藤原輝男, 金山和雄: 「雨滴の終末速度による地面浸食に関する研究(3)」, 山口大学工学部研究報告,(1977.9.18)
- 2) G.B.FOOTE: Terminal Velocity of Raindrops Aloft., J. Appl. Meteor, 249-253, (1969)
- 3) WIRED: How fast is falling rain?, <https://www.wired.com/2011/08/how-fast-is-falling-rain/>(2016.12.15)
- 4) 陸田秀実, 平田真登, 川上健太, 土井康明, 田中義和, 柳原大輔: A Technology of Electrical Energy Generated From Ocean Power using Flexible Piezoelectric Device, 土木学会論文集B2 (海岸工学) Vol.66, No.1, 1276-1280, (2010)
- 5) 高野 保英, 竹原 幸生, 江藤 剛治: 雨滴の超高速動画撮影による落下速度・形状の計測, 65 巻, 土木学会論文集, 4号 p.332-340, (2009)

回転球と無回転球の着水時の空気の巻き込まれ方の違いの解明

佐藤 海斗 斎藤 優 小林 佑資 柏野 桃香 鈴木 道裕

指導者：仲達 修一 白神 陽一朗 筒井 愛知 益田 史郎 清水 逸生

要 旨

本研究では、予備実験として水面上2 cmの高さから回転させた球と無回転球を落下させたところ水中へ巻き込まれる空気の量に違いがあることを発見した。そこで、球の回転数による水中へ巻き込まれる空気量の違いを定量的に確認することを目的として研究を行った。結果、ボールの回転数と巻き込まれる空気量に関係性があることがわかった。しかしながら、この現象の詳細なメカニズムの解明までには至らなかった。

When a spinning ball or a non-spinning ball splash into the water, they make different phenomena. Non-spinning ball make no air bubbles, but a spinning ball involves some amount of air after its path of sinking. In this research, the difference between the amount of air involved by a ball and the number of spin of the ball was examined. As a result, the number of spin and amount of air had a relationship. Although detailed mechanisms why the spin make different amount of air bubbles were not unraveled.

キーワード：回転球，無回転球，回転数，
泡

1. はじめに

たまにお風呂場で小さい子がスーパーボールで「投げる」、「落とす」、「回す」などして遊んでいる。このとき、ボールを水中に落としてみたところ回転させた場合と無回転の場合で違いがあることを発見し、本研究を行うに至った。

<使用した球>

材質はセラミック製で、直径2 cm、質量17gで、表面がなめらかな図1の球を用いた。また、回転軸は水面に対して垂直方向とした。



図1 使用した球

<言葉の定義>

本研究では回転球を水面と平行に回転させた球を回転球としている。

2. 予備実験と結果

<目的>

回転球と無回転球を水中に落とした時に巻き込まれる空気量に違いが出ることを確認する。

<実験方法>

- ① 水面上2 cmの高さから球を手で回転をかけて落とした。無回転球の場合も同じ高さから回転をかけずに落とした。
- ② 落下の様子をハイスピードカメラで撮影した。

<結果>

図2のように、回転球は着水時に空気を巻き込むが無回転球を落下させた場合は空気が全く巻き込まれないということを確認した。

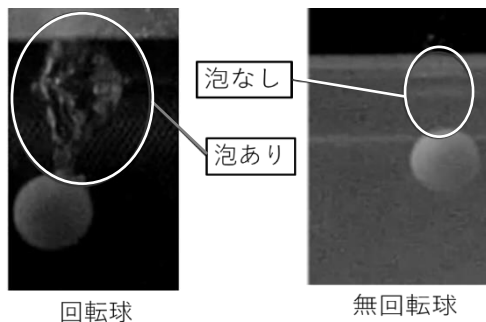


図2 回転球と無回転球の落下の様子の違い

3. 実験

回転数の違いによる空気量の測定を行った。画像解析をするために無料動画解析ソフト Kinovea を使用した。

<用いた道具>

GoPro hero, 電動ドライバー, 球, 水槽, 車のヘッドライト

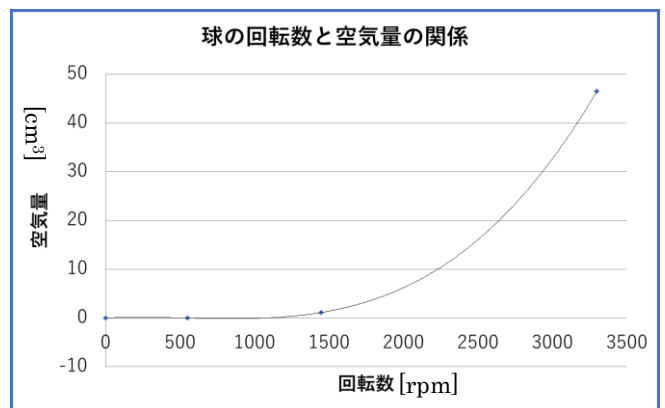
<用いた式>

$$V = \frac{4}{3}\pi a^2 b$$

(V : 体積, a : 楕円の短軸, b : 楕円の長軸)

<方法>

- ① 水槽に 30 L の水を入れ、糸を球にグルーガンでつけて吊った。
- ② 球を付けた糸の反対側に電動ドライバーを付け、回転速度を「なし (0 rpm)」、「小 (550 rpm)」、「中 (1450 rpm)」、「大 (3300 rpm)」の四段階で回転させた
- ③ 回転が一定になったあと糸を焼き切り、水中に落下させた。①から③をそれぞれの回転数で 10 回ずつ行った。
- ④ その様子を GoPro hero で撮影し、動画解析ソフト Kinovea で解析し、動画に映っている気泡の半長軸の長さを測定した。
- ⑤ ④で測定した半長軸の長さを半径にして、気泡が回転楕円体と仮定して、体積を測定した。それぞれの回転数で 10 回分のデータを平均した。



<結果>

実験の結果、回転数を上げれば上げるほど、水の中に巻き込まれる空気の量は増加した。

<考察>

結果から、回転数を上げれば上げるほど、巻き込まれる空気量は増加する。

<結論>

今回の実験から回転数と巻き込まれる空気量に関係性があることが分かったが、現象のメカニズムを解明するには至らなかった。

4. 今後の課題

回転球の回転数と、巻き込まれる空気量の測定結果が四つと少ないので、測定する回転数を増やし、より詳細な傾向を調べることが必要である。

実験で水の流れを可視化するために、水の中に粒子を入れて光を照射して観察するPIV法を試みたが、十分な結果が得られなかった。実験方法の改良が必要である。

また、回転球と無回転球の落下速度の違いについても、詳しく解析を行う予定である。

*謝辞

PIV法及び水中の水の流れを可視化する方法を教えてくださいました長岡技術科学大学の高橋 勉先生に感謝の意を表します。

また、実験道具としてバイクのヘッドライトカバーを提供して頂いた大森サイクルセンターの大森様に感謝の意を表します。

5. 参考文献

- 1)無料動画解析ソフト Kinovea
(<https://www.kinovea.org/>)
- 2)久保田浪之介：トコトンやさしい流体力学の本. 技術評論社, (2005)
- 3)小峰龍男：「流体力学」のキホン.
SB Creative, (2014)

空気中での2球の落下運動

The Falling Motion of Two Balls in the Air

尾釜直樹 谷口理啓 豊住勇治 横溝剛 平田葉菜 藤川亜也 安原未来香

指導者：仲達修一 益田史郎 筒井愛知 白神陽一朗 清水逸生

要 旨

先行研究（三宅 大和 他：2015）で、空気中で2つの円錐形物体を水平に並べ落下させると、接近したのち、離れながら落下する運動が起こることが報告された。本研究では落下させる物体の形状を球に変えて、シミュレーションと落下実験を行った。シミュレーションから、2球の周りの圧力は周期的に変化することが明らかになったが、実際の落下実験では2球は一度接近し、後に離れたものの、再度の接近は確認できず周期性は認められなかった。

A previous research reported when two paper cones put on parallel were dropped, they approached and went away from each other (Miyake et. al: 2015). In this study, an object was changed from cones to balls. We tried to observe the falling motion of two balls and to simulate the pressure around them. According to the simulations, the pressure around the two balls in a study flow clearly showed a periodic motion. However, a periodic motion was not observed in actual experiments.

キーワード：球体の落下，シミュレーション，周期性，ベルヌーイの定理，慣性

1. 序論

空気中で軽量の物体を落下させると、ゆらぎながら落下する。このとき、落下する物体は空気抵抗や空気の粘性、圧力など様々な要素の影響を受ける。そこで、空気中で軽量の物体2個を水平に並べて落下させると、それらはどのような落下運動をするのか疑問に思い、調べることにした。

先行研究より、空気中で、図1で示されるようなコーン型の軽い2物体を水平に近づけて並べ落下させた結果、2物体は互いに最初は接近したのち、離れながら落下するという運動が確認された。

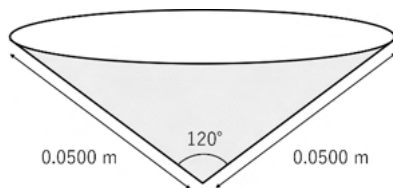


図1 コーン型物体模式図

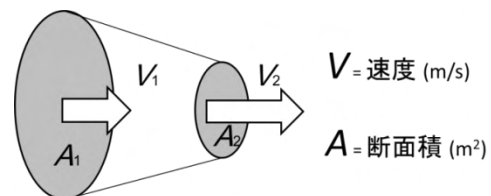
先行研究では球体の落下においてこのような落下

運動は確認されていない。そこで本研究では、2球を水平に近づけて並べ落下させた場合にも、先行研究と同様の現象が確認されるか疑問に思い、シミュレーションと落下実験による検証を行った。

2. 研究内容

〈仮説〉ここで以下の2つの式を考える。

・連続方程式



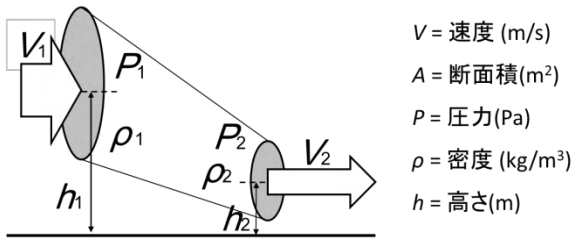
$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

図2 連続方程式

図2において、速度 V_1 、 V_2 が音速より遅い場合、空気は非圧縮性流体だとみなせるものとする。非圧縮性流体の場合、ある断面積 A_1 から A_2 に向かって流れる流体が速度 V_1 から V_2 まで変化したとき、質量

保存の法則から図2の式が成り立つ。

・ベルヌーイの定理



$$\frac{1}{2}\rho V^2 + \rho gh + P = \text{一定}$$

図3 ベルヌーイの定理

定常流で、空気のように非圧縮性、非粘性の流体であり外力が重力のみの場合、流体には運動エネルギー、位置エネルギー、圧力エネルギーが存在し、ベルヌーイの式はこれらの総和は常に等しいことを示し、図3のように表される。

ベルヌーイの式と連続方程式を組み合わせると、2球の間の圧力が図4のようになると予想した。

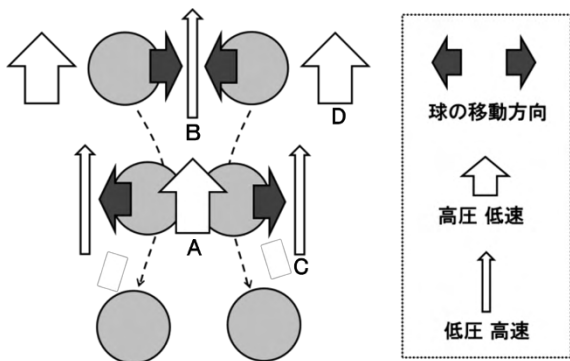


図4 落下に伴う2球間の圧力の変化

図4に示されるように、2球間の圧力が低いとき2球はそれぞれが近づく運動をし、2球間の圧力が高いとき2球それぞれが離れると考えられる。

シミュレーション

“Flowsquare”を用いてシミュレーションを行った。
 〈目的〉水平に並べた2球が落下するときの圧力変化をシミュレートする。

以下の変数においてシミュレーションを行った。
 なお、本シミュレーションでは2球を固定して、画面左から右に風を流すことによって、2球の落下を再現している。

- ・球の直径 10 cm
- ・風速 5 m/s
- ・2球間の距離 10 cm~40 cm

〈結果〉

得られたシミュレーション画像のうち2球間の距離10 cmのものを図5に示す。図5において、2球間の色が濃い部分は圧力が低く、色が薄い部分は圧力が高いことを示す。

2球の内側の圧力が外側と比べて低くなり、すぐに内側の圧力のほうが外側よりも高くなった。その後は圧力の高い部分が外側、低い部分が内側と交互に変化し、圧力に周期性が見られた。2球間の距離が大きくなるほど2球の内側と外側の圧力差は小さくなり40 cmのシミュレーションでは明確な圧力変化の周期性が見られなかった。

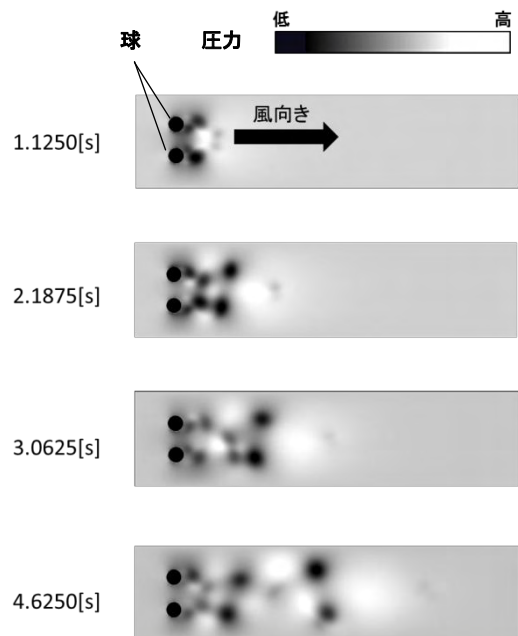


図5 風速 5m/s, 2球間の距離 10 cm

〈考察〉

圧力変化の周期性が確認されたことから、落下す

る2球も接近したり離れたりを繰り返す周期的な動きを考えると考えられる。2球間の距離が広がるにつれ、2球は互いの圧力変化の影響を受けなくなり、独立した運動になると考えられる。

シミュレーションにおいて圧力変化の周期発生が確認されたため、次に実際に球を落下させる実験を行った。

実験

〈目的〉 2球の落下運動を観測する。

〈準備物〉 発泡スチロール球(直径 10, 8.0, 6.5 cm), 装置, ビデオカメラ, 運動解析ソフト“Kinovea”

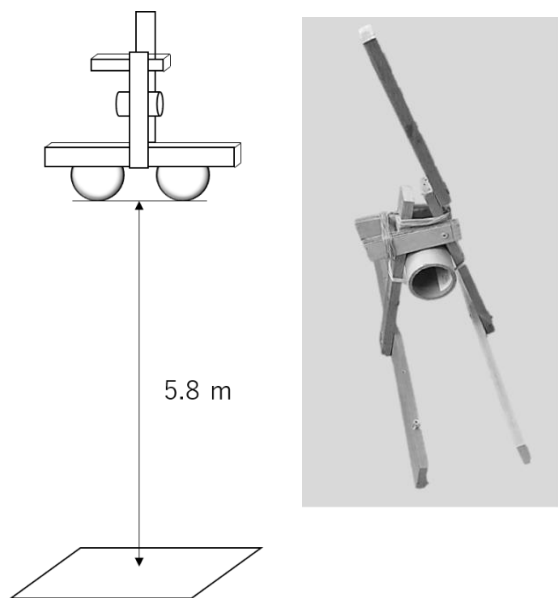


図6 実験装置の模式図(左)と写真(右)

〈実験方法〉

- ① 直径 10 cm の発泡スチロール球 2 個を 4 cm 離して水平に並べ、高さ 5.8 m の高さに固定した。
- ② 2 球を同時に落下させ、運動の様子をビデオカメラで撮影した。
- ③ 運動解析ソフト“Kinovea”で動画解析を行い、時間の変化に伴う 2 球間の変化を調べた。
- ④ はじめの 2 球間の距離(初期位置とする)を 4 ~ 14 cm まで 1 cm ずつ変え、同様の操作を各 5 回行った。
- ⑤ 2 球の直径を 10, 8.0, 6.5 cm に変え①~④までの操作を繰り返し行った。

〈結果〉

実験は、無風で気温 25.0 °C, 湿度 61 %, 気圧 1.0 × 10³ hPa の環境下で行われ、次の図を得た。

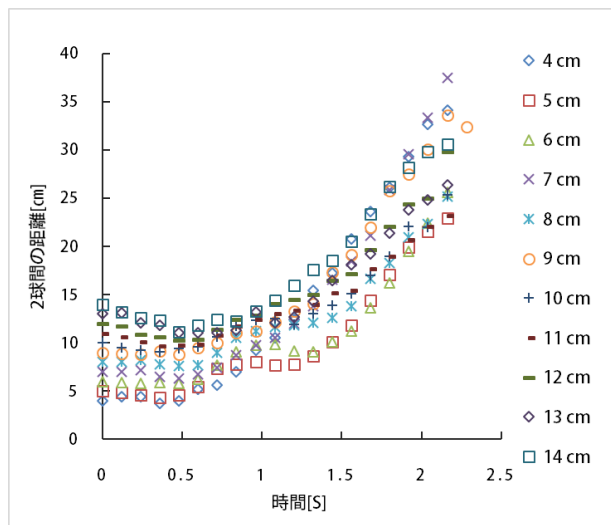


図7 初期位置と2球間の距離の関係(直径 10 cm)

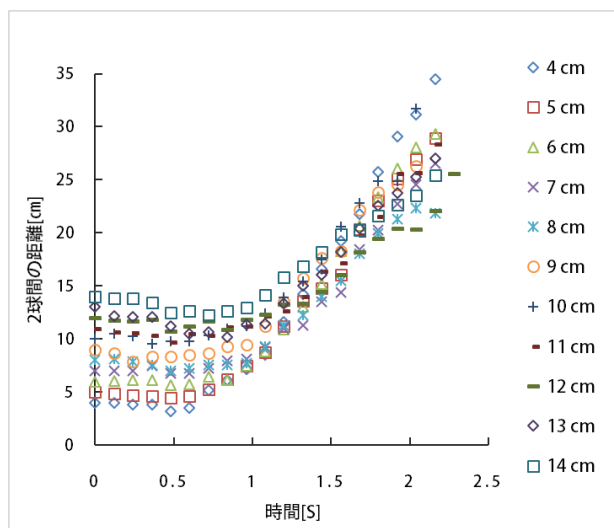


図8 初期位置と2球間の距離の関係(直径 8.0 cm)

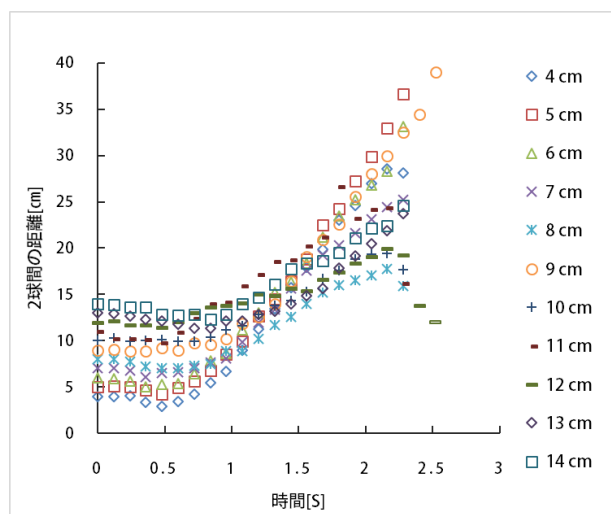


図9 初期位置と2球間の距離の関係(直径 6.5 cm)

図7～9のグラフの横軸は2球の落下時間, 縦軸はある時間における2球間の距離, グラフの要素(4 cm～14 cm)は球の初期位置(2球間の距離)を示す。

図7～9より, 2球ははじめは互いに衝突することなく接近したのち, 離れながら落下する運動が確認された。2度目の接近は球の直径が6.5 cm のときにのみ確認された。

また, 初期位置が離れるほど2球間の距離の変化は穏やかになった。

〈考察〉

図7～9のグラフの傾きは2球間の水平方向の速度を表すと考えられる。このとき2球が近づくと水平方向の速度は遅くなり, 2球が離れていくと水平方向の速度は速くなると考えられる。

2球ははじめベルヌーイの定理により一度接近するが, 球の質量が大きいため, わずかな速度変化で慣性力が働いて離れる。そのため, 内向きの力は働いているが, 外向きの力(慣性力)のほうが大きくなり2度目の接近は起こらなかったと考えられる。内向きの力が何かは明らかになっていないため, 今後明らかにしていく必要がある。

また, 質量が小さくなるほど慣性力が小さくなるため, 内向きの力が相対的に大きくなり, 周期が発生しやすくなると考えられる。

3. 結論

2球の周りの圧力は, 圧力の高い部分が外側と内側で交互に変化するという周期性を持つことが明らかになった。

空気中で2球を水平に並べて落下させると, 2球ははじめ互いに衝突することなく接近したのち, 離れながら落下することが明らかになった。また, 2球の初期位置が離れるほど2球間の距離の変化が穏やかになることが明らかになった。

4. 課題

落下時に球にはたらく内向きの力が何なのか明らかにする。

落下させる物体の質量と周期運動の関係性を調べ

るため, 球の質量を変えて実験を行う。

5. 参考文献

- 1) 眞田 みなみ:「2つのコーン型物体の落下運動」, 岡山県立倉敷天城中学校, 2013
- 2) 三宅 大和 (他) 「空気中で起こる2つの軽い物体の奇妙な落下運動」岡山県立倉敷天城高等学校, 2015
- 3) ベルヌーイの定理ほか[南日本設備サービス] (http://www.face.ne.jp/m-setubi/berunuinotei_rihoka.html)
- 4) Excel による自由落下する球の終端速度の計算 (<https://www.sit.ac.jp/user/konishi/JPN/Freeware/TerminalVelocitySIT/TerminalVelocitySIT.html>)
- 5) Kinovea (<https://www.kinovea.org/>)
- 6) Flowsquare (<http://flowsquare.com/jp/>)

デンプンに含まれるアミロペクチンの含有量の比較法

小野大樹 亀岡俊貴 筒井達也 小原茉純

指導者：小延靖史，藤井俊哉，大橋崇，Yakubu Abdallah

要旨

本研究では、デンプンに含まれるアミロペクチンの含有量の比較法を研究した。その方法とは、 β -アミラーゼを用いてデンプンから還元糖を生成し、Somogyi-Nelson 法を用いて還元された糖との反応で生成されたモリブデン酸イオンの青色を比色する。その結果を、作成していた検量線を用いて、デンプン溶液中の還元糖の濃度を比較するという方法である。結果、デンプンと β -アミラーゼを2分以内で反応させると、アミロペクチンの濃度の比較を吸光度からできることが明らかになった。

Abstract

This study investigated how to measure the proportion of amylopectin contained in starch. In this method, a reducing sugar was produced from starch using β -amylase, and the reduced sugar was colored blue using the Somogyi-Nelson assay. A standard calibration curve was prepared to determine the concentration of the reducing sugar in starch solution using colorimetric measurement. The result revealed that by reacting starch with β -amylase for 2 minutes, it is possible to determine the amount of precipitated amylopectin in starch through colorimetric measurement.

キーワード：アミロペクチン， β -アミラーゼ，Somogyi-Nelson 法，検量線

1. 序論

植物には様々なデンプンが存在している。デンプンに含まれているアミロースとアミロペクチンは植物の種類によって含有量が違う。その違いの判別を可能にするために、デンプンに含まれるアミロペクチンの含有量の比較法について研究した。 β -アミラーゼの性質を用いるとアミロペクチンの含有量を比較出来るのではないかと考えた。 β -アミラーゼは、デンプンの非還元性末端からマルトース単位で 1-4 結合のみを切断していく酵素である。また、アミロペクチンの 1-6 結合は切断しない。

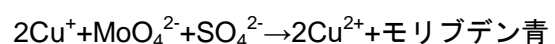
2. 研究内容

実験の手順としては、実験 1 では Somogyi-Nelson 法を用いて、還元糖の濃度と吸光度の関係を表す検量線を作成した。還元糖はマ

ルトースを使用した。実験 2 では、 β -アミラーゼでデンプンを分解し、生成した還元糖を Somogyi-Nelson 法を用いて比色した。結果として吸光度を検量線に代入して、反応時間と還元糖の濃度の関係を表すグラフを作成した。2 種類のデンプンに含まれる還元糖の濃度を比較できるのかを研究した。

<Somogyi-Nelson 法> ²⁾

還元糖を銅試薬によって定量する方法である。糖-銅試薬の反応で生じた Cu_2O を硫酸酸性下で、リンモリブデン酸と反応させて、モリブデン青として比色した。主な反応は以下ようになる。還元糖が増加するに従ってモリブデン酸イオンが増加することが分かる。



操作としては、まず試液 1.0 mL に Somogyi 試薬を 2.0 mL 加えてよく混ぜた後、100 °C で 10 分間煮沸した。このとき、加熱による水の蒸発を防ぐために、ビー玉を試験管の上に置いた。

次に、Nelson 試薬を 2.0 mL 加え 30 分放置後、精製水を 5.0 mL 加え、吸光光度計を用いて波長 520 nm で比色した。これらの操作を操作(1)とした。

<アミラーゼ>

本研究では、酵素として β -アミラーゼを使用した。 β -アミラーゼは 1-4 結合のみを非還元性末端から、マルトース単位で切断していく。本研究では予備実験として、比較的安価に入手できる α -アミラーゼで、アミラーゼが研究に使用できるかを確認した後、 β -アミラーゼを使用して、主目的であるデンプンに含まれるアミロペクチンの含有量の比較法について研究した。 α -アミラーゼは 1-4 結合と 1-6 結合を不規則に切断し、様々な種類の還元糖を生成する。

実験 1. 検量線の作成

<目的>

還元糖との反応物による銅イオンの青色を比色し、測定した吸光度から、溶液中の還元糖の量の比較をするための検量線を作成した。

<仮説>

直線のグラフが検出されると考えられる。

<薬品>

マルトース, Somogyi 試薬, Nelson 試薬, 精製水

<実験器具>

ホールピペット(2.0 mL, 1.0 mL, 5.0 mL), ビーカー, 駒込ピペット, 電子天秤, 吸光光度計(フナコシ株式会社製 CO7500colorimeter), 薬包紙, メスフラスコ, 試験管, ビー玉, ガスバーナー, 三脚, 金網,

<実験方法>

まず、6種類の濃度の異なるマルトース水溶液を 1.0 mL 作成した。

(5.0×10^{-5} , 3.75×10^{-5} , 2.5×10^{-5} , 1.5×10^{-5} ,

5.0×10^{-6} , 2.5×10^{-6} , 0 (mol/L))

これらに操作(1)をして、吸光度を測定した。測定した結果をグラフにした。

<結果>

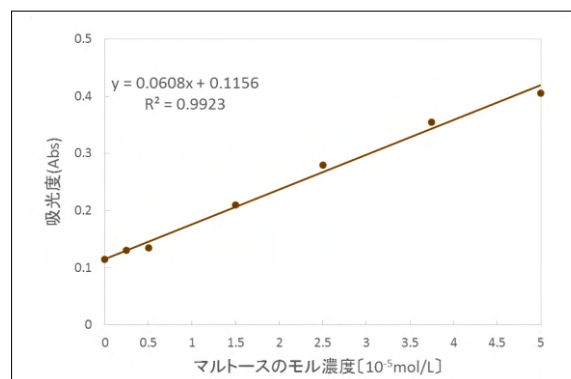


図 1 検量線

このグラフは仮説通り、今後の本研究に利用できる理想的な直線の検量線であると考えた。この検量線を用いて、試液中の還元糖の量を測定し、デンプン中のアミロペクチンの含有量を比較することにした。

実験 2. β -アミラーゼでの還元糖の量の測定

<目的>

この実験では、 β -アミラーゼを使用してデンプンに含まれるアミロペクチンの含有量の比較法について研究した。

<仮説>

事前に実験していた α -アミラーゼを使用した研究では、還元糖の濃度と吸光度の関係を表したグラフは増加関数であったため、デンプンに含まれるアミロースやアミロペクチンが分解されて生じた還元糖の量を比較できた。しかし、 α -アミラーゼはデンプンを不規則に分解していくため、データにムラができる。対して、 β -アミラーゼはデンプンの非還元性末端からマルトース単位で 1-4 結合のみを切断していくため、 α -アミラーゼでムラがあった結果がなくなると考えられる。そのため、 β -アミラーゼを使用すれば還元糖の量をより正確に比較ができると考えた。

<薬品>

β -アミラーゼ, 馬鈴薯デンプン, ワキシコーンスターチ, Somogyi 試薬, Nelson 試薬, 精製水

<実験器具>

ホールピペット(2.0 mL, 1.0 mL, 5.0 mL), ビーカー, 駒込ピペット, 電子天秤, 電磁式はかり(研精工業株式会社製 A & D 分析用電子天秤 GR-202), 薬包紙, メスフラスコ, 試験管, ビー玉, ガスバーナー, 吸光光度計(フナコシ株式会社製 CO7500 colorimeter), 恒温機

<実験方法>

ワキシコーンスターチ水溶液(0.01 %)と馬鈴薯デンプン水溶液(0.01 %)をアミラーゼが反応しやすい 30 °Cでβ-アミラーゼと反応させた後, 操作(1)をした。この2つのデンプンについて, ワキシコーンスターチはアミロペクチンのみで構成されたデンプンで, 馬鈴薯デンプンはアミロースも含まれているデンプンである。対照的な2つのデンプンを用いることで, 本研究の手法でアミロペクチンの含有量の大小の比較ができるのかを研究した。また, Somogyi 試薬によってデンプン溶液の pH が変化するため, β-アミラーゼによる反応は停止する。β-アミラーゼと 30 分反応させると, 反応が進みすぎて値のばらつきが生じたため, 適切な反応時間についての実験も行った。

<結果>

表 1 時間と吸光度の関係

時間(分)	吸光度(Abs)								
	ワキシコーンスターチ								
	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	平均
0	-0.08	-0.16	0.19	-0.29	0.03	0			-0.05167
5	0.03	0.04	0.02	0.09	-0.15	-0.15	-0.06	0.09	-0.01125
10	0.06	0.1	0.06	0.04	0.17	0.24	0.17	0.02	0.1075
15	0.19	0.09	0.13	0.17	0.06	0.06	0.1	0.06	0.1075
20	0.06	0.05	0.13	0.1	0.01	0.13			0.08
30	0.06	0.02	0.03	0.01	0.06	0.03	0.13	0.17	0.06375

時間(分)	吸光度(Abs)								
	馬鈴薯								
	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	平均
0	-0.08	-0.04	-0.22	-0.2	0.02	0			-0.08667
5	-0.05	0	0.03	0.07	0.02	0.2	0.06	0.14	0.05875
10	0.07	0.06	0.07	0.14	0.13	0.17	0.12	0.29	0.13125
15	0.38	0.05	0.21	0.2	0.19	0.08	0.1	0.07	0.16
20	0.07	0.2	0.12	0.26	0.1	0			0.125
30	0.17	0.08	0.05	0.06	0.18	0.25	0.13	0.22	0.1425

上記の表が得られた。表 1 を基に反応時間と吸光度の関係のグラフを作成した。グラフの式の Y 軸である吸光度の値を検量線のグラフに代入して, アミロペクチンの濃度と時間の関係についてのグラフを作成した。

結果は下記のようなグラフとなった(図 2)。アミロペクチンのみで構成されるワキシコーン

スターチとアミロースも含む馬鈴薯デンプンは反応時間が 2 分のあたりで還元糖の濃度が逆転していることが確認された。

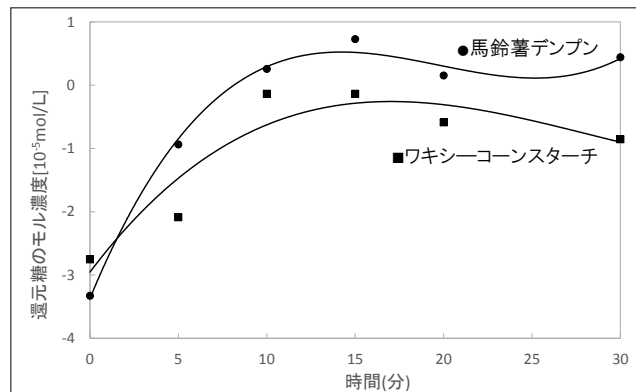


図 2 時間とアミロペクチンの濃度の関係

<考察>

図 2 より, 2 分の辺りでグラフが交わっている理由としては, 以下のように考えられる。アミロースが多く含まれるデンプンは反応時間に比例してマルトースが増加する一方で, アミロペクチンは, 反応時間が増えるほど 1-6 結合で反応が止まる。そのため, アミロースを含む馬鈴薯デンプンは一定時間が経過すると, アミロペクチンのみで構成されたワキシコーンスターチより還元糖が多く生じて吸光度は大きくなるためである。このことから, 反応時間が 2 分以内の時, アミロペクチンの含有量の比較ができる事が考えられる。またその範囲で, ワキシコーンスターチの方が多く還元糖を生成していることが確認できる。

3. 結論

実験 2 よりデンプンとβ-アミラーゼを 2 分間反応させると, アミロペクチンの含有量の違う 2 つのデンプンは値が逆転する。そのため, Somogyi-Nelson 法を用いることでアミロペクチンの含有量の比較ができることが明らかになった。また, 反応時間が 2 分である理由としては, β-アミラーゼの反応速度が想定よりも速く, アミロペクチンの非還元性末端から 1-6 結合までの距離が短い, という 2 つのことが考えられる。したがって, 比べる 2 つのデンプンの種類によって反応時間は変わることが考えられる。しかし, ある特

定のデンプンについてのアミロペクチンの含有量を正確に測定することはこの研究ではできなかった。今後は、アミロペクチンの含有量を正確に測ることのできる方法についても、研究していきたい。

***謝辞**

この研究を進めるにあたり、様々な先生方に御指導をいただきました。ここに、感謝の意を表します。ありがとうございました。

【文献】

- 1) 佐野博敏,花房昭静:五訂版 スクエア最新図説化学.第一出版社,pp.242-245(2013)
- 2) http://www.sbj.or.jp/wp-content/uploads/file/sbj/9012/9012_yomoyama_2.pdf
- 3) <https://www.alic.go.jp/index.html>