

自転車の安定性

～ホイールベースと走行距離～

大谷亮佑 田中太朗 宮谷海史 山崎幹大 宮家心花 山口美海

要 旨

一般的に、二輪車の直進安定性は、ホイールベース（補足）が長ければ増すと言われている。本研究ではホイールベースと走行距離の関係に着目し、自転車の模型を製作して実験を行った。本研究で使用した模型は人が乗っておらず動力がない。車輪径に対してホイールベースが十分に短いときはその長さに応じて平均走行距離が変化した。ホイールベースがある特定の長さを超えると平均走行距離はほとんど変化しなかった。その結果から、ホイールベースを長くしてもそれ以上走行距離が伸びない長さがあることが分かった。

Generally, in motorcycle it is said that straight-ahead stability will increase if the wheelbase (see supplement) is long. In this research, focusing on the relationship between the wheelbase and the distance of running, we made a model of a bicycle and carried out an experiment. The model used in this research is unmanned and not power driven. When the wheelbase is very short relative to the diameter of a wheelbase exceeds a certain length, the average distance of running hardly changed. From the results, it was found that there is a length that the distance of running does not extend any further even if the wheelbase is lengthened.

キーワード：ホイールベース，二輪車，直進安定性

1. 序論

Jack Loftus(2011)の報告によると、今まで二輪車が安定して走行するために重要だと言われていた「ジャイロ効果」，「キャスター角が正」という条件が無い場合でも走行することが可能である。¹⁾そのため、私たちは

他の条件が関係していると考えて研究を行った。

一般的に、二輪車の場合ホイールベース(図1中 R)が長ければ、直進安定性が増すといわれている。このことについてホイールベースが R ， $2R$ のそれぞれの場合について考える。走行中、点 Q に前輪が到達した時に、進行方向と垂直な方向から θ だけ傾けた角度に前輪の速度の向きが瞬間的に変化させられるとする(図1)。

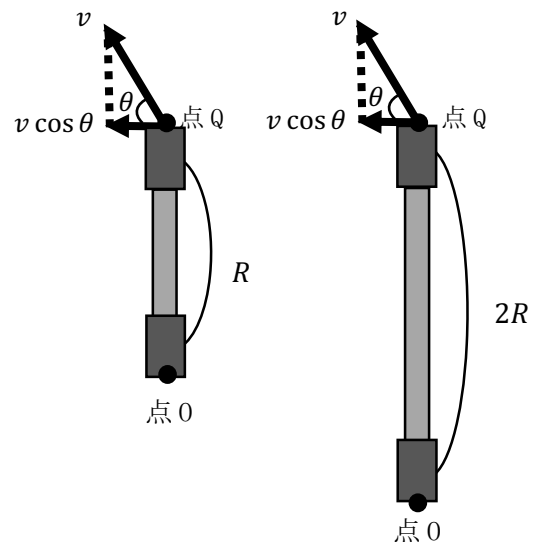


図1 走行時の自転車を上から見た模式図

「 $v = R\omega$ 」より、点Oを中心とした角速度をそれぞれ ω_1 , ω_2 とすると

$$v \cos \theta = R\omega_1 \text{ によって } \omega_1 = \frac{v \cos \theta}{R}$$

$$v \cos \theta = 2R\omega_2 \text{ によって } \omega_2 = \frac{v \cos \theta}{2R}$$

以上より、ホイールベースが長ければ、点Oの周りの角速度の大きさは小さくなり、回転しづらくなる。そのため、曲がろうとする力より直進する力のほうが大きくなり、走行距離が伸びると考えた。

・補足

ホイールベースとは前輪軸と後輪軸との距離である。

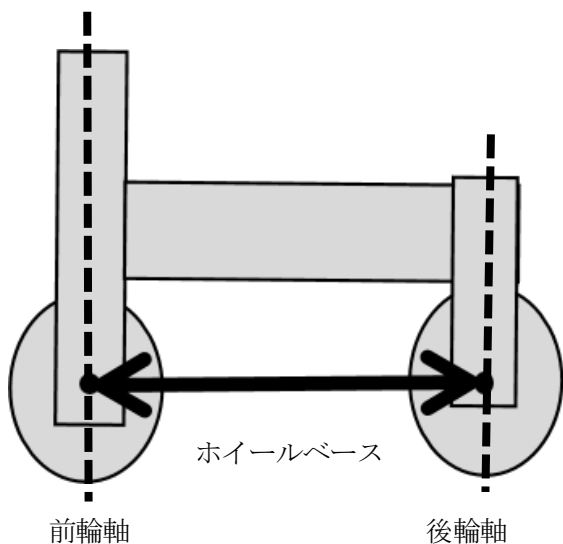


図2 ホイールベースの説明

2. 研究内容

実験1

<目的>

ホイールベースと走行距離との関係を調べる。

<仮説>

序論で述べたように、ホイールベースが長くなれば、走行距離も伸びていくと思われる。

<実験器具>

二輪車模型(図3), 発車装置(図4)

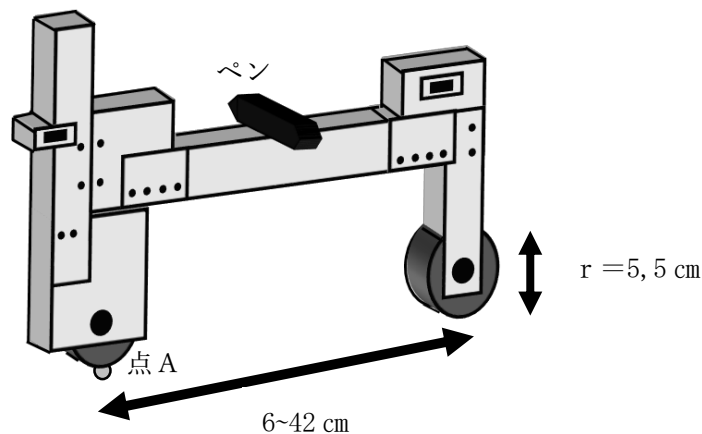


図3 二輪車模型

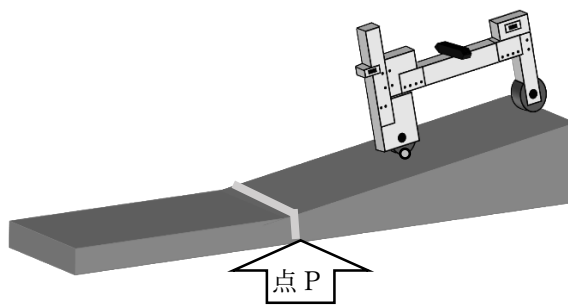


図4 発車装置

<実験方法>

水平面から 15° の傾斜をつけた発車装置から二輪車模型を発車させる。ホイールベースを12 cm, 22 cm, 32 cm, 42 cmと変化させ、倒れた位置をそれぞれの20回ずつ測定する。

ただし、倒れた位置は、斜面と水平面との境界の点Pに、前輪(点A)が達したところから、模型のペン先が水平面に接触したところまでの距離とする。

<結果>

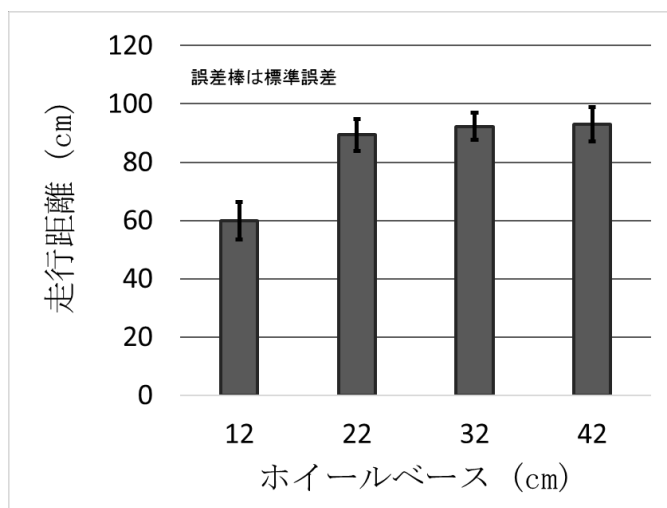


図5 ホイールベースと走行距離

図5の結果から、ホイールベースが22cmを超えると、走行距離の変化が小さくなるといえる。

実験2

<追加実験>

実験から大まかな傾向は見えた。より細かな傾向を見るために6cmと、変化が大きい12cmから22cmの間の17cmでの計測を行った。実験方法と装置、発車台は実験1と同じものとする。

<結果>

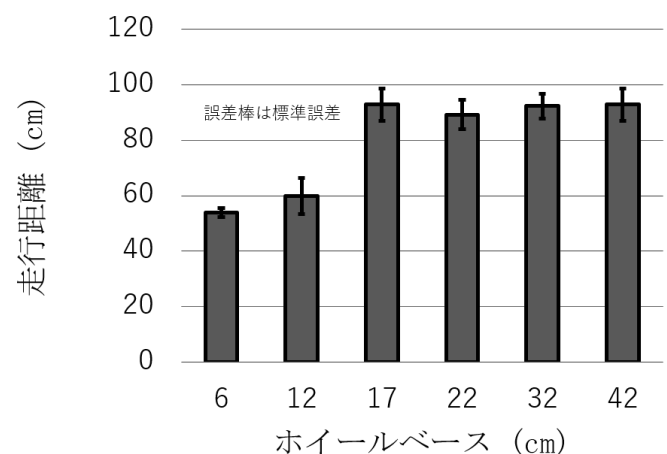


図6 ホイールベースと走行距離

図6の結果よりホイールベースが17cm以上になると、走行距離の変化が小さくなると考えられる。

<考察>

理論上は、ホイールベースが長くなればその分走行距離が伸びる。ホイールベースが長い場合、

$mR^2 \frac{d\omega}{dt} = FR$ より、車体の角速度は小さくなり回転しにくく、直進するため走行距離が伸びると考えた。

しかし、実験結果より実際はホイールベースが17cmを超えると、走行距離の変化は小さくなった。

このことから、ホイールベースと走行距離との間には、走行距離が伸びるために必要なホイールベースの上限があると考えられる。この上限をタイヤの直径を r 、ホイールベースを R とすると、 $\frac{R}{r} \geq 4.5$ と表せる。

よって本実験の場合、車輪径とホイールベースの関係が $\frac{R}{r} \geq 4.5$ になるときは、ホイールベースの変化が走行に及ぼす影響は小さくなるといえる。

この理由はまだわからないので今後の課題にしたい。

3. 結論

今回の研究から、特定のホイールベースの範囲では、理論通りホイールベースが長くなるほど、走行距離が伸びることが分かった。また、ホイールベースと車輪径に着目すると、 $\frac{R}{r} \geq 4.5$ になると、走行に及ぼすホイールベースの影響が小さくなることが考えられる。

4. 参考文献

1) Bicycle Dynamics - TU Delft

bicycle.tudelft.nl/schwab/Bicycle

2) なぜ自転車は倒れずに走り続けられるのか、そのメカニズムを動画で解説

<https://gigazine.net/news/20150702-how-do-bikes-stay-up>

デンプンのりとプラスチックの接着において重要な要素

河村祥太郎 大谷拓也 清水泰顕

要 旨

本研究では、くっつきにくいもの同士の接着に注目し、その原因を探ることで、接着において何が重要なのかを研究した。まず、同じ質量のデンプンのりを用いて2枚のプラスチック板を接着させ、その接着面積を変数として接着面積と接着強度の関係を調査した。その結果から、のりの乾燥状態が接着強度に大きく影響を及ぼしているものと考えられたため、乾燥させた日数を変数としたもの、乾燥機を用いて乾燥させたもので強度の変化を計測した。

各種の測定結果から、デンプンのりとプラスチックとの接着においては接着面積よりもデンプンのりの乾燥状態と、それに伴うデンプンの構造変化が深く関係している可能性があるのではないかという結論を得た。

キーワード：デンプンのり、プラスチック

Starch paste has difference to chemical adhesives that is no harm even if we eat this. However, it is difficult to adhere plastics with starch paste. Therefore, I dare studied how important elements in adhesion can be clarified by adhering the two. First, we adhered two plastic plates together using starch paste of the same mass. Secondly investigated the relationship between the adhesion area and adhesive strength using the adhesion area as a variable. From the result, we found that the dry condition of the paste greatly influenced the adhesive strength. We measured the difference in strength by changing time of adhering and drying using a hot dryer. From the results of various measurements, we found that a dry condition, and the structural change of the starch paste are the conditions necessary for plastic adhesion.

1. 序論

デンプンのりなどの機械的接着¹⁾で接着するタイプの接着剤がなぜプラスチックなどに接着しにくいのかに目を向け、その原因を探ることで接着しにくい物質同士をいかに接着させるかを探ろうと考えた。

2. 研究内容

実験1.

<目的>同じ質量の接着剤を用いて異なる面積でプラスチックを接着させることで面積の違いによる接着強度の違いを探る。

<仮説>接着面積が大きいほど接着強度が高くなるのではないか。

<薬品・器具>

デンプンのり, S字フック, アクリル板, セロハン(ポリプロピレン), 硬質塩化ビニル板, 滑車

<実験方法>

接着させたとき接着面積が直径2, 3, 4 cmの円になるように切ったアクリル板, セロハン(ポリプロピレン)で被覆したプラスチック板, 硬質塩化ビニル板をデンプンのり0.25 gで接着し, 2日間常温で静置した。硬質塩化ビニル板は接着部の円の直径が1 cm, 5 cmになるように切ったものも使用した。

その後, 図1のような実験装置を用いて接着の強度の計測を行い, その平均を求めた。

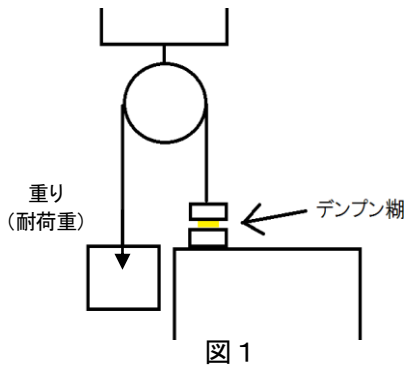
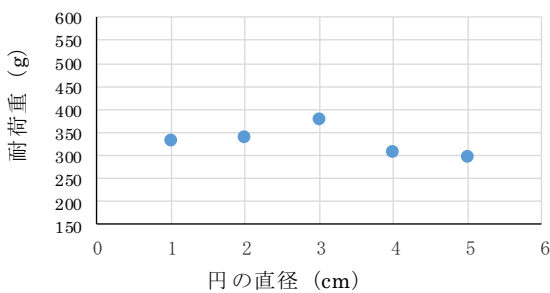


図 1

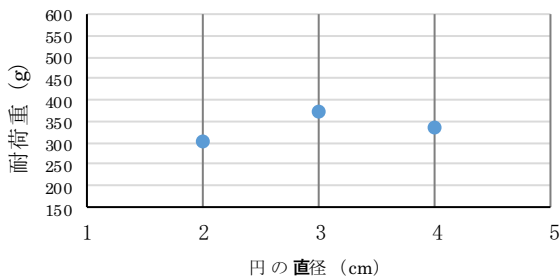
<結果>

結果は次のようになった。

硬質塩化ビニル板

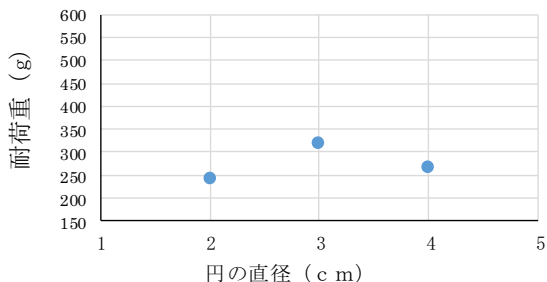


セロハン (ポリプロピレン)



図からどれも直径3 cmのものの強度が一番高いことがわかった。また、直径3 cmの前後においてポリプロピレンテープとアクリル板は直径2 cmより直径

アクリル樹脂



4 cmが高いのに対して、硬質塩化ビニル板では直径4 cmより直径2 cmの方が高くなっていた。

<考察>

測定後、はがれたプラスチックに付着したのは、まだ粘性が残っており、その程度は接着面の直径が大きいほど失われていた。ここから、のりの乾燥状態が粘着力（接着強度）に関係しているのではないかと考えた。それぞれの耐荷重の測定値にはかなりばらつきがあり、これも乾燥の度合いが揃っていないことによる影響によるものであると考えた。

実験 2.

<目的>乾燥状況による接着強度の変化

<仮説>以前までの実験では計測した値にばらつきがあったため乾燥が十分でないと考えた。

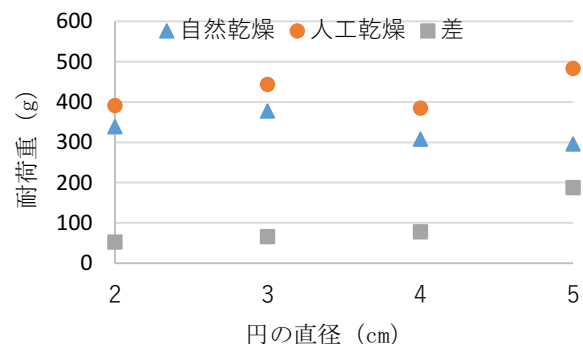
<薬品・器具>デンプンのり、S字フック、滑車、硬質塩化ビニル板、乾燥器

<実験方法>

乾燥器を用いて40℃で二日間乾燥させたものを人工乾燥、二日間常温で静置させたものを自然乾燥として耐荷重の違いをグラフにした。

<結果>

結果は下の図のようになった。



図から直径1 cmのものは接着できないほど強度が弱まり、逆に直径5 cmのものは最も強かった。さらに自然乾燥した耐荷重と乾燥器を用いたものの耐荷重の強度の差から、面積が大きいほど上がり幅も大きいという法則性が見られており、直径5 cmは他に比べて特に大きな耐荷重の差が見られた。

<考察>

実験2の結果から、特定の接着面積を境に急激に接着強度が増減する場所があり、それらをより詳細に調べることでプラスチックとデンプンのりの接着強度において重要な要素がわかると考えられた。

実験3.

<目的>失われた水分と経過日数による接着強度の変化を探る。

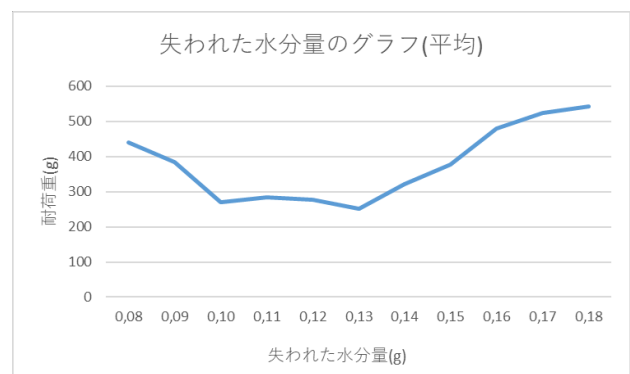
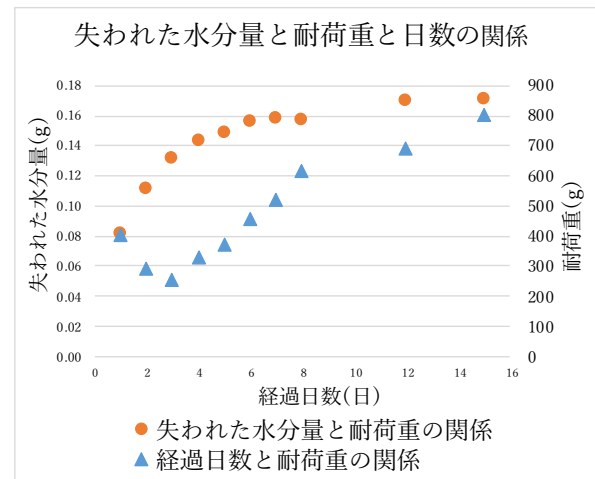
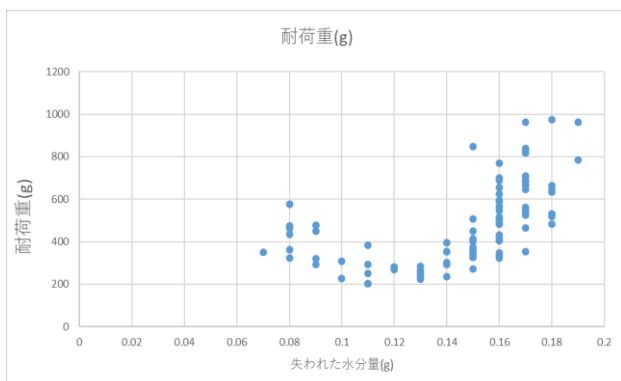
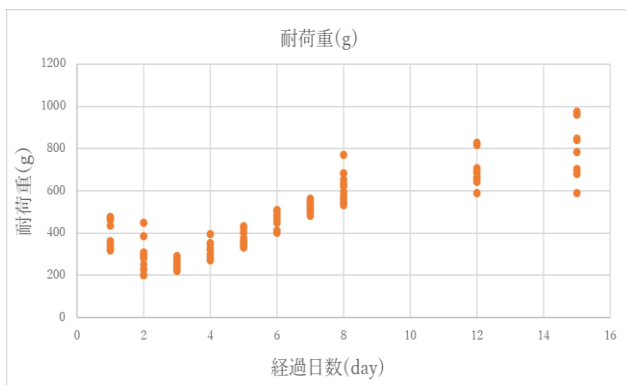
<仮説>経過日数に関係なく失われた水分が多ければ多いほど接着強度が向上する。

<薬品・器具>デンプンのり、S字フック、滑車、硬質塩化ビニル板、電子天秤

<実験方法>

硬質塩化ビニル板にデンプンのり0.25gで接着させたものを、1日ごとに質量変化(失われた水分量)および接着強度を計測した。なお、今回は接着面の円の直径が3cmのもののみを計測した。

<結果>結果は下の図のようになった。



経過日数のグラフを見ると1~2日目にかけて耐荷重が減少し、それ以降は増加傾向がみられるが、8日目からの耐荷重の増加はあまりみられなかった。失われた水分量のグラフを見ると耐荷重は0.08~0.1gにかけて減少しており、その後0.13~0.19gにかけて増加傾向がみられた。また、0.1~0.13gの間のデータは比較的少なく、値のばらつきもすくなかった。

<考察>

デンプンの老化が最も早く進行するといわれている水分保有量30%~60%²⁾である失われた水分量0.10~0.17gの間でデンプンのりの耐荷重は増加の傾向が高いと考えられた。デンプンのりの耐荷重の増加が始まるのは失われた水分量が0.13gの時で経過日数3日目に集中していた。このことから、デンプンの老化が早く進行する0.10~0.17gの間の0.13gの地点でデンプンのりの老化による固体化が急速に進行し、接着力が上昇したのではないかと考えられた。

3. 結論

デンプンのりとプラスチックとの接着では、あまり乾燥させてない時とよく乾燥させたときでは接着強度に差があった。各種の測定から、その主な原因は、デンプンのりとプラスチック板との接着では、デンプンの老化による構造変化が接着強度に影響を及ぼしているからであると考えられる結果が得られた。

4. 参考文献

- 1) 第一学習社:六訂版最新スクエア図説化学(平成30年)
- 2) SGS 総合栄養学院
URL:<https://sgs.liranet.jp/sgs-blog/5808>

身近な食材・食品におけるクロロゲン酸の検出及びその定量法 ～化学的性質を利用して～

山本泰世 小西脩太 中田雄飛 野田睦稀 深谷蓮 吉田樹生

要旨

コーヒー豆に多量に含まれるクロロゲン酸には、血糖値上昇抑制作用、血圧改善作用、抗酸化作用など様々な機能があることが報告されている。我々はクロロゲン酸の化学的性質を利用することによって、身近な食材・食品からクロロゲン酸を検出することを目的として研究を行った。その結果、クロロゲン酸のデンプン分解酵素 α -アミラーゼ阻害活性から、ごぼう、さつまいも、コーヒーから、クロロゲン酸を検出することができた。さらに、実験で得られた数値データを応用し、食材・食品中に含まれるクロロゲン酸の分離精製を行う必要のない、間接的な定量法を考案した。

It has been reported that a large amount of chlorogenic acid is contained in coffee beans has various functions such as inhibitory effect on blood glucose level increase, hypotensive effect, antioxidant action and so on. In this experiment, we focused on chlorogenic acid and studied for the purpose of detecting chlorogenic acid from foods by using the chemical properties of chlorogenic acid. As a result, it was possible to detect chlorogenic acid from burdock, sweet potato and coffee by using chlorogenic acid carbohydrase α -amylase inhibitory activity. Furthermore, by applying the numerical data obtained in the experiment, we will devise an indirect quantification method that does not have to separate and purify chlorogenic acid in foods.

キーワード：クロロゲン酸，デンプン分解酵素阻害活性

1. 序論

現在、多くの食物にヒトの健康増進に有効な物質が含まれていることが確認されている。トマトなどに含まれるリコピンや、ニンジンやホウレン草などに含まれる β -カロテン、日本茶に含まれるカテキンなどがその代表的な例である。そこで我々は、このようなヒトの健康増進に有効な物質を含む食品・食材に興味を持ち、ほかの食品についても調査をしてみることにした。すると、コーヒーはII型糖尿病を予防することが報告されており¹⁾、コーヒー豆の成分について調べてみると、コーヒー豆には5%~10%と多量のクロロゲン酸という物質が含まれていることが分かった。

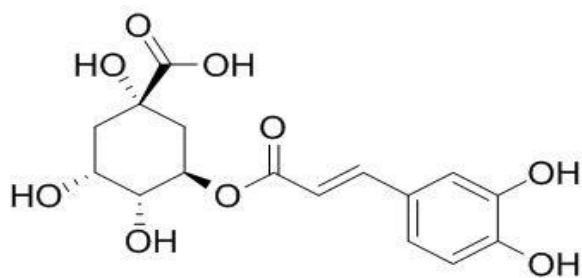


図1 クロロゲン酸の構造式²⁾

このクロロゲン酸には、血糖値上昇抑制作用、血圧改善作用、抗発癌作用、抗酸化作用、抗菌活性など様々な機能があることも知られており³⁾、コーヒーのII型糖尿病予防もクロロゲン酸によるものであるといえる。また、コーヒー豆のほかに、さつまいも、ごぼうなどにもクロロゲン酸が含ま

れていることが確認されている⁴⁾。さらに調査を進めてみたところ、クロロゲン酸には以下のような化学的性質があることが分かった。

- ①デンプン分解酵素 α - アミラーゼ阻害活性^{5) 6)}
- ②金属イオンとキレート作用を起こす⁷⁾
- ③ショ糖との熱反応により褐色色素を形成⁸⁾
- ④弱塩基性条件下で緑変反応を生じる⁹⁾

そこで我々は、これらの化学的性質を利用することで、食品から容易にクロロゲン酸を検出することが出来るのではないかと考えた。よって本研究では、クロロゲン酸の化学的性質を利用して食品からクロロゲン酸を検出することを目的として研究を行った。

2. 研究内容

本研究では、クロロゲン酸を含む食品として、市販のさつまいも、ごぼう、コーヒーを用いて実験を行った。また、さつまいも、ごぼうについては、内部の部分と皮の部分とで含まれるクロロゲン酸の量が異なるのではないかと考え、それぞれ内部と皮に分けて試料を作成した。

実験. デンプン分解酵素 α - アミラーゼ阻害によるクロロゲン酸の検出及びその定量

<目的>

クロロゲン酸はデンプン分解酵素である α - アミラーゼを阻害することが報告されている^{5) 6)}。この性質を利用して、食品からクロロゲン酸を検出することを目的とする。(※天然の α - アミラーゼ阻害物質として、小麦アルブミンや豆鼓エキス、茶として飲用されるバナバ茶抽出物、グァバ茶抽出物、豆類ポリフェノール、紅茶タンニンなどが報告されているが¹⁰⁾、本実験で使用するさつまいも、ごぼう、コーヒーはこれらのいずれの物質も含まれていないため、本実験から考察される α - アミラーゼ阻害活性はクロロゲン酸以外の物質に寄与しないものであると見なせる。)

<薬品・器具>

ビーカー(100 mL, 300 mL, 500 mL), 駒込ピペット(5.0 mL), 試験管, 漏斗, 濾紙, 漏斗台, 乳鉢, 乳棒, 温度計, 薬包紙, 葉さじ, ガラス棒, 魔法瓶, 電子天秤, ガスバーナー, 三脚, 金網, 尿糖試験紙(テルモ株式会社 新ウリエース Ga), 精製水, デンプン(米山薬品工業株式会社), α - アミラーゼ(東京化成工業株式会社), さつまいも(市販のもの), ごぼう(市販のもの), コーヒー(キーコーヒー株式会社 スペシャルブレンド)

<実験方法>

- ①試料(ごぼう皮, ごぼう内部, さつまいも皮, さつまいも内部, コーヒー)をすりつぶした。
※コーヒー: 0.15 g, その他: 1.0 g …(ア)
 コーヒー: 0.45 g, その他: 3.0 g …(イ)
- ②①に精製水をコーヒーは 25 mL, 他は 10 mL 加え, 濾過した。
- ③試験管に各試料の濾液 5.0 mL, デンプン溶液(1.0%) 5.0 mL を入れ, 40 °C に温めた。
- ④③の試験管に α - アミラーゼを 0.10 g 入れた。
- ⑤④の 5 分後, 尿糖試験紙を 1 秒間浸した。
- ⑥⑤の 30 秒後に写真を撮り, 尿糖試験紙の色を確認した。



図2 実験の様子

<結果・考察>

尿糖試験紙は、試験紙の色の変化によって尿中に含まれる尿糖のおよその量を検査するものである(図4)。そこで我々は、図4に示すように試験紙の色を五段階に分類し、撮影した写真から、試験紙の色をコンピュータで比較することによって

色を数値化した。結果は図5に示すグラフのようになつた。値が小さいほど糖の検出量が少なく、値が大きいほど糖の検出量が多いことを示している。

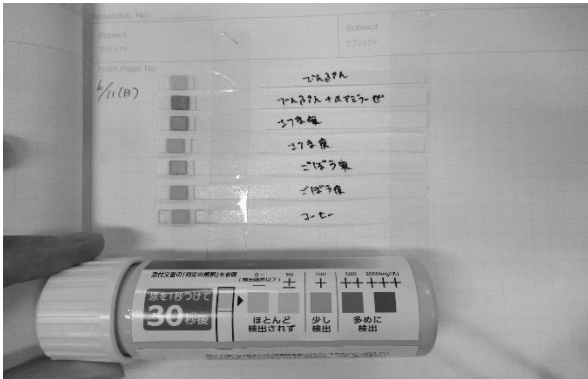


図3 各試料における尿糖試験紙の色の变化



図4 尿糖試験紙の容器のラベル

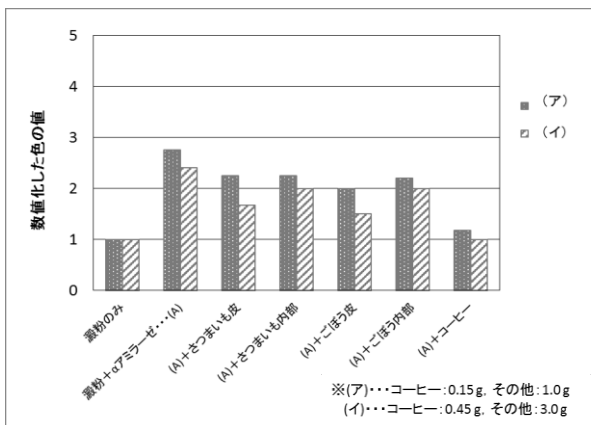


図5 各試料における糖の検出量

図5より、さつまいも内部・皮、ごぼう内部・皮、コーヒーを加えた試料は、デンプン+ α -アミラーゼのみの試料よりも値が小さい、すなわち糖が検出されなかったということが分かり、 α -アミラーゼがデンプンを分解する働きを阻害したといえる。よってこれらの試料にはクロロゲン酸

が含まれていると考えられる。また、各試料を比較すると、コーヒーの値が最も小さく、続いて、ごぼう皮、さつまいも皮、ごぼう内部、さつまいも内部、となっている。つまり、 α -アミラーゼの阻害率が最も高かったのがコーヒーで、最も低かったのがさつまいも内部であるといえる。この結果はクロロゲン酸の含有量に依存していると考えられ、各試料をクロロゲン酸の含有量が多い順に並べると、コーヒー、ごぼう皮、さつまいも皮、ごぼう内部、さつまいも内部の順になる。すると、さつまいも、ごぼうともに、内部よりも皮の方がクロロゲン酸の含有量が多いことが分かった。

また、本実験では α -アミラーゼがデンプンを分解することによって生じた還元糖(マルトース)を尿糖試験紙を使用して測定したが、これでは正確な還元糖の定量はできないため、あまり適切ではない。そこで、還元糖の定量法について調べてみたところ、レイン・エイノン法と呼ばれる還元糖の定量法があり、この一部を改良した簡便法が考案されていた¹¹⁾。今後はこの方法を用いて還元糖を正確に定量する必要がある。

また、クロロゲン酸の定量については、クロロゲン酸純物質を用いて同様の実験を行い、クロロゲン酸の質量と還元糖量の関係を表した検量線を作成し、その検量線と本実験データとを比較することによって、試料中に含まれるクロロゲン酸を間接的に定量できるのではないかと考えた。

3. 結論

本研究から、クロロゲン酸の化学的性質であるデンプン分解酵素 α -アミラーゼ阻害活性を利用することで、さつまいも、ごぼう、コーヒーからクロロゲン酸の検出ができることが実証された。さらに、さつまいもとごぼうについては、内部よりも皮の方がクロロゲン酸の含有量が多いということが明らかになった。また本研究では、実際にクロロゲン酸の含有量の定量をすることはできなかったが、クロロゲン酸純物質を用いて作成した検量線と比較することによって、食品中のクロロゲン酸の分離精製を行わずに、間接的に定量す

る方法を考案することができた。

今後の課題としては、前述の我々が考案した定量法に基づいて、実際に試料に含まれるクロロゲン酸を定量していくことが挙げられる。また、序論に挙げた②～④のようなクロロゲン酸の化学的性質を利用することによっても、クロロゲン酸の検出ができることを実証することが挙げられる。さらに、本研究で明らかとなった、さつまいもとごぼうは内部より皮の方がクロロゲン酸を多く含むということが、ほかの食材にも同様に当てはまることなのかどうかも調べていきたいと考える。また、上記のレイン・エイノン法というフェーリング反応を発展させた実験を行っているが、今後多くのデータを集めていきたい。

4. 参考文献

- 1) 岡希太郎：コーヒーの糖尿病予防効果を説明する栄養成分の薬理学, 127 (11) (2007).
- 2) <http://www.chemfaces.net/natural/Chlorogenic-acid-CFN99116.html>
- 3) 河野洋一, 藤田和弘：コーヒー豆中のクロロゲン酸類と総ポリフェノールの分析, 分析化学, 65 (6) (2016).
- 4) 食品って色が変わるの？堺市食品衛生研究所 <https://www.city.sakai.lg.jp/kenko/kenko/hokencenter/eiken/pr/eikendayori.files/eikenndayori52.pdf>
- 5) 立石絵美, 韓立坤, 奥田拓道：ラットにおける食後の血糖値に及ぼすコーヒー豆の熱水抽出物の影響, 栄養学雑誌, 62 (6) (2004).
- 6) 紙谷雄志, 岩井和也, 福永泰司, 木村良太郎, 中桐理：脱カフェインコーヒー豆抽出物の糖質分解酵素阻害活性とクロロゲン酸類の寄与, 日本食品科学工学会誌, 56 (6) (2009).
- 7) クロロゲン酸 | 栄養の基礎知識 http://hontonano.jp/nutrition/413_chlorogenic_acid.html
- 8) 中林敏郎, 山田恭史：焙煎によるコーヒー褐色色素の形成順序, 日本食品工業学会誌, 34 (4) (1987).
- 9) 堀川博朗, 岡安美恵子, 和田篤子, 草間正夫：クロロゲン酸とアミノ酸から生じる緑色色素に関する研究, 日本食品工業学会誌, 18 (3) (1971).
- 10) 大内和美：キノコ類及び植物性食品の消化酵素阻害についての研究, 女子栄養大学博士(栄養学) 学位論文 (2012).
- 11) 岩瀬良則：改良式レイン・エイノン法による還元糖定量, 化学と教育, 45 (11) (1997).

分裂条件から見るナミウズムシの生存戦略

西山佳吾 福森千隼 山田峻 徳見香菜子 麓雛多

要旨

本校で飼育しているナミウズムシに温度の違いで体長の差が見られたので、飼育条件がナミウズムシに与える影響について知りたいと思った。本研究では、個体群密度と飼育温度を変数として体長や分裂までの期間を調べる実験を行った。個体群密度を変えてそれぞれの個体数が2倍になるまでの期間を計測すると、5個体・10個体飼育では単独飼育と比べ、個体数が2倍になるまでの期間が同程度に長かった。このことから個体群密度よりも接触の有無が分裂調節に関わっていることが示唆された。さらに、飼育温度と分裂時点での体長の関係を調べると、飼育温度が上昇するにつれて分裂が促進され、分裂時点での体長が短くなることが確認できた。これらの結果からナミウズムシは他個体の接触による分裂抑制と低温による分裂抑制の仕組みを持っていることが分かった。

Planarian (*Dugesia japonica*) cultivated in our school showed the difference in their body length depend on the temperature of their habitat. In this study, the effect of density of individuals in a flock and the temperature of habitat on the time intervals between their asexual reproduction and their body length were examined. The number of planarians in a container doubled faster when only 1 planarian was cultivated in a container than when there were 5 or 10 of them were in a container. The speed of reproduction in the case of 5 or 10 planarians in a container were almost the same. From this fact, it can be thought that having contact or not with other individuals is affected on their division than the density of individuals in a flock. In addition as the temperature rises, their division were promoted, and in result their body length shortens at the time of their division. From these results, it was found that they have a mechanism that controls their division when they contact with other individuals and low temperature.

キーワード：ナミウズムシ，分裂，個体群密度，飼育温度

1. 序論

ナミウズムシ (*Dugesia japonica*) はプラナリアと呼ばれており、扁形動物門に属する動物である。進化的には初めて三胚葉性、集中神経系、左右相称を獲得した生き物であり、細かく切っても失った部分を再生する能力で有名である。有性生殖を行うこともできるが、本研究では無性生殖の分裂で増殖する個体を用いた。分裂は一定期間が経過すると、咽頭の前部または後部が横方向に分かれ(自切と呼ぶ)、高温下では分裂が起こりやすいと言われており、分裂後それぞれの断片が元通りに再生して2個体となる。無性生殖で増殖する場合、分裂が促進されることは個体数の増加の点で有利であるが、過剰な分裂は環境収容力の限界に達しやすくなるばかりでなく、

個体の小形化により咽頭などの器官形成が不十分となり、餌を取ることができず、個体の消滅につながるという危険性があり、分裂抑制のしくみが必要となる。

先行研究とした「プラナリアの自切頻度に短期間の温度上昇が与える影響」では、13°Cで長期間飼育したナミウズムシを20匹ずつ同時飼育し、1日後、2日後、3日後に13°Cに移したものと18°Cのまま飼育する実験を行った。さらに、対照として13°Cで20匹同時飼育も行った。分裂の有無を確認するため毎日ナミウズムシの個体数を数え、実験開始7日後で観察を終えた。これらの実験の結果、13°Cでは分裂は起こらないが、3日間18°Cの飼育環境下に置くという温度上昇があれば13°Cの低温であってもナミ

ウズムシの分裂が促進されると結論づけた。

本研究は、先行研究の個体群密度が 20 匹であったため、13℃の低温下で個体群密度を変えた実験を行った。また、高温で分裂が促進されることに関して、飼育温度の違いと分裂時点での体長の関係を測定する実験を行った。

2. 研究内容

実験 1.

<目的>

先行研究の低温での分裂抑制の確認と、7 日間を超える長期間で単独飼育を行った場合の分裂を調べる。

<仮説>

20 匹同時飼育・13℃では分裂が抑制されるが、単独飼育・13℃では分裂が起こる。

<実験方法>

1. 再生が完了しているナミウズムシ (図 1) 96 匹を 1 匹の個体から分裂により増殖させた個体群から選別する。

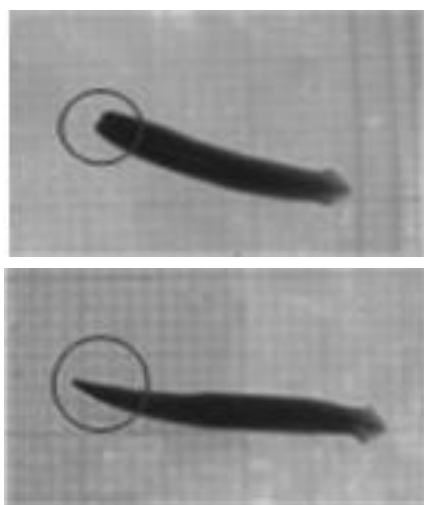


図 1 再生が完了していない個体 (上)
再生が完了している個体 (下)

2. 1 個体ごとに個別の容器に入れ、飼育水の体積を一定にして 13℃の環境下で飼育する。
3. 分裂の有無の確認をするため毎日個体数を確認し、分裂が起きた場合、その時の個体数と日付を記録する。
4. 実験開始から 37 日後に実験を終了する。

<結果>

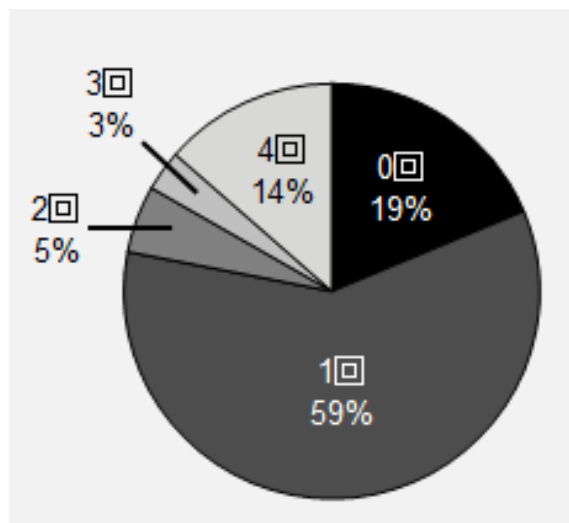


図 2 13℃で 37 日間飼育後の分裂回数ごとの個体の割合

先行研究では、13℃では 7 日後の分裂による個体数の増加は見られなかった。本研究では、7 日後までに 96 個体中 10 個体の分裂が見られた。さらに、37 日間観察した結果、96 匹中 18 匹は分裂しなかったが、他は分裂し、分裂回数 1 回が 57 匹、2 回が 5 匹、3 回が 3 匹、4 回が 13 匹となった (図 2)。

<考察>

13℃で飼育した場合、先行研究で分裂が起らなかった 7 日間でも分裂が起こった。これは先行研究が 20 匹の個体群密度で飼育していたのに対し、本研究では個体群密度が最も低い単独飼育を行った点が異なり、さらに 37 日間後までに約 81%の個体が分裂をした。このことから、個体群密度が低い場合、低温でも分裂が起こることがわかった。

実験 2.

<目的>

実験 1 で得た低個体群密度が分裂を促進させているという結果を検証するため、個体群密度の差が分裂に要する期間にあたる影響について調べる。

<仮説>

個体群密度を低くすることで分裂が促進され、分裂期間も短くなる。

<実験方法>

1. ナミウズムシを1匹・5匹・10匹ごとの個体群に分けて容器(100 mL)に入れ, それぞれの個体群を5個ずつ用意する。



図3 左から1匹・5匹・10匹の個体群

2. 分けた個体群を13°Cの環境下で飼育する。
3. 個体数の増減を確認するために, 毎日個体数を確認し, 個体数の増加があればその時の個体数と日付を記録する
4. 3つの密度条件, (1匹・5匹・10匹の個体群密度) がそれぞれ2倍(2匹・10匹・20匹)になった時点で実験を終了する。

<結果>

	一匹	五匹	十匹
個体群1	11.0	38.0	21.0
個体群2	11.0	38.0	38.0
個体群3	11.0	38.0	38.0
個体群4	11.0	38.0	44.0
個体群5	38.0	38.0	52.0
平均	16.4	38.0	38.6

表3 個体群密度ごとの個体数が2倍になるのに
かかった期間

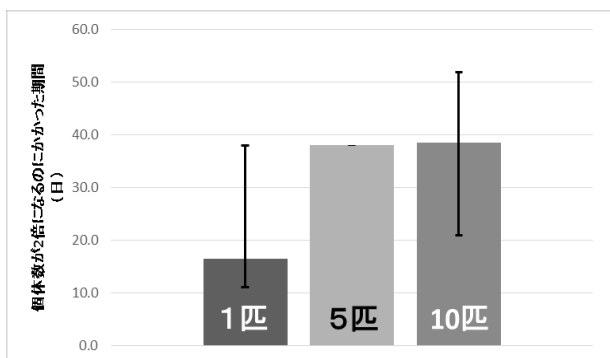


図4 個体群密度と分裂期間(日)の関係

個体群密度が1匹の場合, 個体数が2倍になるまでの分裂期間が他のものより短く, 個体群密度5匹, 10匹では差が見られなかった。

<考察>

Pigonらの研究²⁾では, 1つの容器の中の個体数が分裂に影響を及ぼしており, これには分裂を調節する化学物質とその物質の受容器である耳葉部分などが関与しているとある。13°Cで飼育されていた個体が単独になると他の個体との接触が無くなり, 抑制状態から, 分裂を開始できる状態に移行し短時間で分裂する。これに対して, 個体群密度が5・10匹の場合は他の個体との接触が起こることで, 互いに分裂を抑制する化学物質を受容し, 分裂が抑制され個体群密度に差があるにもかかわらず, 個体数が2倍になる期間が同程度長くなったことが考えられる。

実験3.

<目的>

分裂時点での平均体長が飼育温度によって変化することを検証する。

<仮説>

飼育温度が高い方が分裂時点での平均体長が低い方に比べて短い。

<実験方法>

1. 再生が完了しているナミウズムシを1匹ずつ個別の容器に分ける。
2. 15°C・13°C・10°Cの3つの温度条件で飼育水の体積を一定にして飼育した。
3. 分裂の有無の確認のために毎日個体数を確認した。
4. 個体数が2匹から3匹に増えていれば, その時の体長が分かるよう飼育容器の下に方眼用紙を敷いて写真を撮り日付を記録する。

1匹～2匹の分裂を除外するのは, 分裂が停止していた個体の飼育温度を実験開始時に変えるので, それが刺激となり個体の体長とは無関係に分裂が起こる可能性があるため。

5. 写真の1mm方眼と比較することでナミウズムシの分裂時点での体長を測定する。このとき分裂後にできる再生芽を除いた頭部側の個体(a)と尾部側の個体(b)の体長を合計し分裂時点での体長とする(図5)。

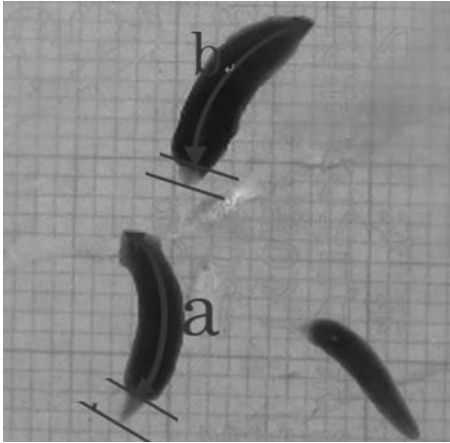


図5 1個体から分裂した直後の個体 (a と b) 及びその再生芽 (他の部位に比べて色が薄い)

<結果>

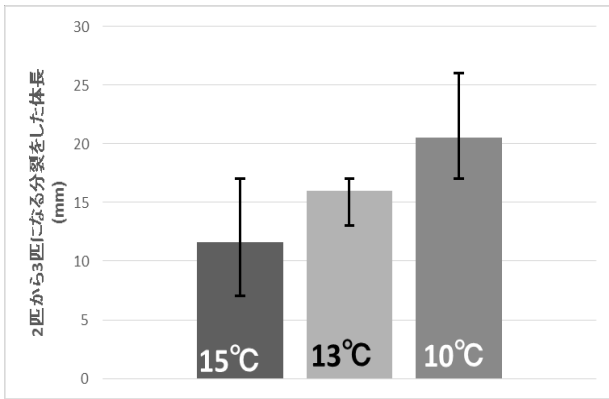


図6 飼育温度ごとの分裂時点での体長

15°Cの場合、分裂時点での平均体長は最も短く、分裂個体の割合は最も高い (80%)。13°Cの場合、分裂時点での体長と分裂個体の割合 (60%) は10°Cと15°Cの間になる。10°Cの場合、分裂時点の平均体長は最も長く、分裂個体の割合は最も低い (30%) (図6)。

<考察>

単独飼育の場合、低温の10°Cで抑制されていた分裂が、13°C、15°Cと温度が上昇すると、抑制が弱くなり、より短い体長で分裂が起こると考えられ、先行研究の18°Cで分裂が促進されることと一致している。

3. 結果

先行研究では13°Cの低温環境下で分裂が抑制され分裂しない個体を18°Cで3日間の高温刺激を与えれば分裂が促進されることを示したが、本研究では、単独飼育という低個体群密度に置くと13°Cでも分裂が促進されることが分かった。また個体の大きさから考えて個体群密度が高いと言えない5匹/1容器でも分裂が抑制されたこと、5匹/1容器と10匹/1容器で分裂にかかる期間に差がないことから、他の個体との接触があれば分裂は抑制されることが分かり、個体群密度による分裂抑制は飼育水量当たりの個体数という単純な比率でなく、他の個体との接触という生理学的な変化である可能性が高い。またPigonらの研究で示された分裂を調節する化学物質とその物質を受容器である耳葉部分などが関与していることと、本研究の結果はナミウズムシの体表の粘液に分裂を調節する化学物質が含まれ、他個体との接触時にその化学物質を受容器で受容することで分裂が抑制される可能性がある点で一致しており、この化学物質を特定することが課題となる。

本校では15°C、13°C、10°Cの温度で数年に渡り高個体群密度でナミウズムシを飼育している。それらの平均体長は15°Cで15.7 mm、13°Cで22.0 mm、10°Cで23.8 mmとなり分裂がほとんど見られない状態で長期間安定している。このことは実験3の結果 (図6) の体長が高温環境下ほど短くなることと一致しており、低温による分裂抑制に加えて、高個体群密度の抑制が重なり、低温で飼育するほど、個体が大型化することになると考えられる。

4. 参考文献

- 1) 有地大哉, 江田智彬, 京免株生, 永山龍那: プラナリアの自切頻度に短期間の温度上昇が与える影響. 岡山県立倉敷天城高等学校理科集録, 17, P. 45-48 (2017).
- 2) A. Pigon, M. Morita, and J. B. Best, "Cephalic mechanism for the Social control of Fissioning in Planarians . II. Localization and Identifitication of the Receptors by Electronmicrographic and Ablaton Studies."

J.Neurobiol. 5, P443 (1974).

- 3) 手代木渉, 渡辺憲二: プラナリアの形態分化
基礎から遺伝子まで. P42~P54 (1998)