

Mechanism of EMF Generation in NaCl Solution Concentration Cell with Copper Electrode

NaCl aq-Cu 電極濃淡電池での起電力発生の原因

大野さくら 小西悠斗 篠原俊輔 秦悠己 丸山静香
指導者：藤原一郎 小延靖史

要旨

研究者の中学時の課題研究で NaCl aq と Al、Zn、Cu、C 電極の組み合わせの濃淡電池で起電力が発生することが分かった。だが Na はこれらの電極金属よりイオン化傾向が大きいため起電力は発生しないと考えられる。そこで我々はこの NaCl aq-Cu 電極の濃淡電池の起電力発生の原因を調べるため、様々な条件を変え実験を行った。様々な塩の水溶液での起電力の比較、水溶液中の溶存酸素を変化させての起電力の比較を行った。これらの結果から本実験の電池の起電力はイオンの移動速度に影響されず、陽イオンと陰イオンの種類にのみ依存する、そして溶解酸素が阻害要因となる反応が起きているのではないかと考えられる。

Daniel cell generates electromotive force by using different metal. Sakura Ono studied and discovered that even same metal is used, electromotive force would be generated. When Al, Zn, Cu were used for both electrode, electromotive force was generated. Also, non-metal C did generate. Although, considering ionization tendency, Na will not generate electromotive force when using Cu for electrode, but it did. To discover this phenomenon, we did this experiment. Using many kinds of solution and changing the rate of O₂ this experiment was done. From this research, it could be said that the electromotive force depends on ions, and oxygen in the solution is inhibiting the reaction.

1. 序論

電池は何らかのエネルギーを電気に変換するデバイスで、我々の生活に欠かせない重要なものとなっている。電池の中で、濃淡電池は濃度の異なる同種電解質間に生じる起電力を活用するもので、一般的に濃度の異なる電解質を作り出すのにエネルギーが必要となるためあまり活用されていないが、濃度の異なる電解質が何かの副産物として得られる場合には、環境からエネルギーを回収する有効な手段になり得る。具体的には逆浸透圧による淡水作成を行った後の高濃度塩水を活用した発電が出来れば、新たなエネルギー源となり得るものである。海水の主要電解質は塩化ナトリウム(NaCl)である。よって、NaCl を用いた濃淡電池を開発する必要があるが、そこには大きな困難が存在する。一般的に濃淡電池においては、電解質の陽

イオンと同種の金属を電極に用いる。しかし、Na を電極に用いると水と反応して水素を発生し、水酸化ナトリウムとなってしまうことと、Na はイオン化傾向が大きいことから、Cu などのよりイオン化傾向の小さい金属との組み合わせでは起電力の発生は期待できない。大野の過去の研究*1で NaCl aq と Al、Zn、Cu、C 電極の組み合わせで起電力が発生することが分かった。そこで本研究では、大野の過去の研究で得られた知見を基に、4 種類の電極の中で最も高い起電力が発生する Cu 電極を用いて、本来起電力の発生するはずのない NaCl aq と Cu 電極の組み合わせで起電力が発生する原因を調べた。

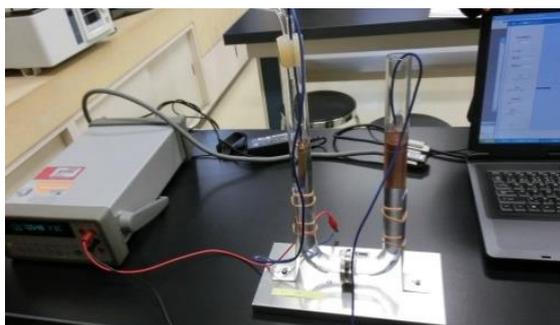


図 2 測定の様子

2. 実験方法

本研究のすべての実験はこの実験方法に統一した。

実験器具

- ・ 34401A デジタル・マルチメータ 6 1/2 桁(KEYSIGHT TECHNOLOGIES 製)
- ・ 生化学用ダイアライシスメンブランサイズ 36(和光純薬工業株式会社)

手順

- ① パソコンとマルチメーターを接続し、電圧を 2.0 秒ごとに自動でパソコンに記録されるよう設定する。
- ② 純水製造装置で精製した精製水を用いて調整した濃淡 2 種類の溶液を、中央を直径 2.0cm(面積 3.1cm²)のセロファンで区切られた浸透圧実験器に両端から同時にそれぞれ 79 mL ずつ入れる。
- ③ 電圧の記録を開始した後すぐに、マルチメーターのプラス側の Cu 電極を濃い溶液に、マイナス側の Cu 電極を

薄い溶液に、それぞれ 17cm² (縦 4.2cm 横 2.0cm) だけ溶液に浸けて実験を行った。安定電圧は変化量の大きさが最も小さい値とした。

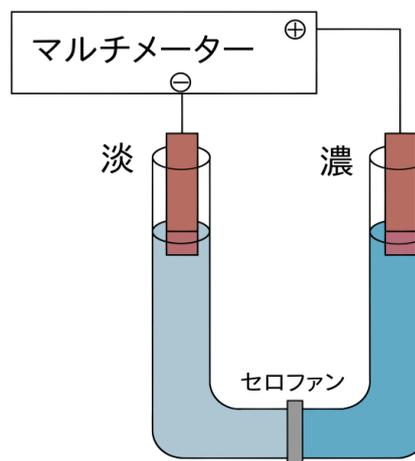


図 1 実験装置の模式図

2. 実験

実験 1 イオンの影響

1.1 仮説

電解質水溶液中でイオン以外の非電解質の

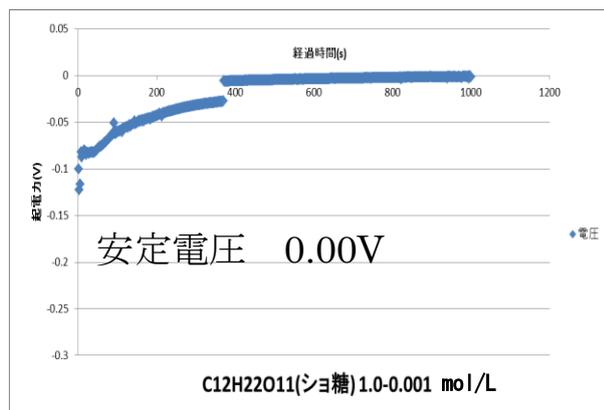
不純物が電極と反応し、起電力が発生しているのではないかと仮説を立て、非電解質水溶液で起電力が発生するか確かめた。

1.2 実験方法

水溶液は $C_{12}H_{22}O_{11}$ aq を用い、濃い溶液の濃度は 1.0 mol/L 、薄い溶液の濃度は濃い溶液を 1000 倍希釈して $1.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ とした。

1.3 結果

起電力は下がっていき、 0 V で安定した。



グラフ 1



1.4 考察

安定後の電圧を見ると電圧は 0 V となっていることから、水溶液中の非電解質の不純物は起電力に関係がないと言える。

実験 2 電極の金属による影響

2.1 仮説・動機

次に、水溶液中のイオンが電極と反応することで起電力が生じていると仮説を立て、 Cu 電極よりイオン化傾向の低い Pt 電極を用いて起電力が生じるかを確かめた。

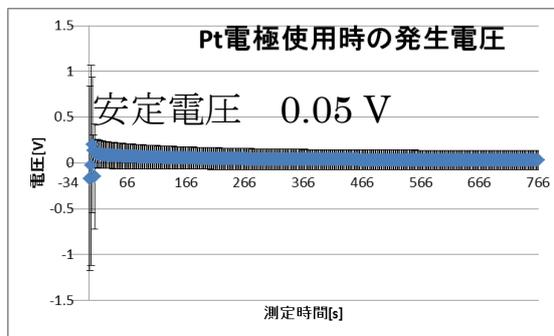
2.2 実験方法

電極を Pt 電極に変えた。濃い溶液の濃度を 0.1 mol/L 、薄い溶液の濃度を $1.0 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ として実験を行った。電極表面の不純物を除去するため実験のたびに塩酸で電極表面を洗っ

た。

2.3 結果

グラフ 3 の Cu 電極を用いた実験より起電力は小さくなった。



グラフ 2

2.4 考察

起電力が発生していることから、 Pt 電極が反応していないとすれば起電力は溶液中の反応によるものと考えられる。

実験 3 イオンのセロハン移動速度の影響

3.1 仮説・動機

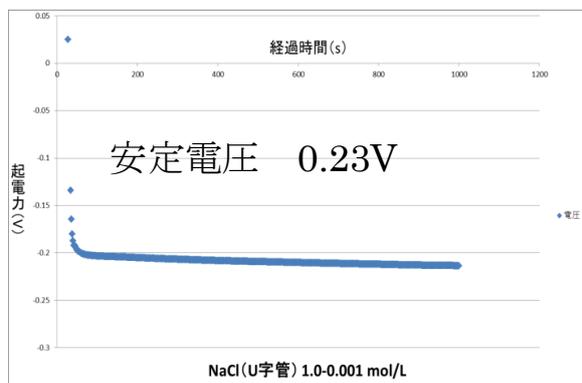
今回実験に用いたセロファン膜は分画分子量が 14000 なので²⁾、 Na^+ や Cl^- はどちらもセロファンの穴を通る³⁾。そこで、文献⁴⁾より Na^+ ($0.005011 \text{ Sm}^2\text{mol}^{-1}$) は Cl^- ($0.00735 \text{ Sm}^2\text{mol}^{-1}$) に比べセロファン間のイオンの移動速度が遅いため、それらのイオンのセロファン間の移動速度の差によって電極間に起電力が生じることが原因で電圧が発生したのではないかと考えた。そこで、陽イオンと陰イオンのセロファン間のイオン移動速度が異なる NaCl aq と、陽イオンと陰イオンの移動速度がほとんど同じである KCl aq (K^+ の移動速度は $0.007635 \text{ Sm}^2\text{mol}^{-1}$) を用い、起電力を比較すると、 NaCl aq の方が KCl aq と比較して起電力が大きいという仮説を立て実験をした。また、塩橋を用いてセロハンを通らなくすることで、

水の移動のない状態でのイオン移動速度の影響がどのようになるか確かめた。

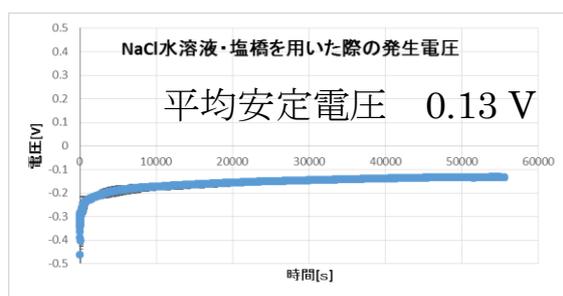
3.2 実験方法

1.0 mol/Lに調整したNaCl aq, KCl aqを1000倍希釈して 1.0×10^{-3} mol/L の溶液を作成しNaCl aq, KCl aq をどちらも濃い濃度は1.0mol/L 薄い濃度は 1.0×10^{-3} mol/L とした。塩橋は 100°Cの水に飽和量の KCl を融解させ寒天で固め、作成した。1.0 mol/L- 1.0×10^{-3} mol/L の濃度差で電極はCuを用いてセロファンを用いた場合と塩橋を用いた場合で起電力を比較した。

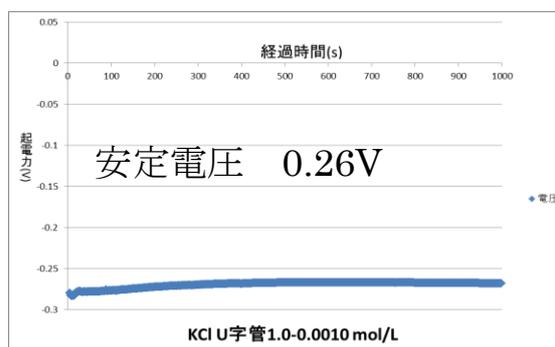
3.3 結果



グラフ 3



グラフ 4 NaCl 水溶液・塩橋を用いた際の発生電圧



グラフ 5

セロファンを用いた場合、KCl aq は NaCl aq と同程度の起電力が発生した。塩橋を用いた場合、セロファンを用いた場合より小さい起電力が発生した。

3.4 考察

グラフ 3~5 よりイオンの移動速度の差が陽イオンと陰イオン間でほとんどない KCl aq でも NaCl aq と同等の起電力が発生した。有意水準を 5%としたで両側検定の t 検定を行った

ところ、 $t(6) = -1.23, p = 0.264$ であり U 字管 NaCl と U 字管 KCl との間に有意差は見られなかった。そのため起電力はイオンの移動速度に影響されないと考えられる。塩橋を用いた場合、セロファンを用いた実験より起電力が小さくなったことから、イオンのみ動く方が起電力が小さくなるを考える。また、セロファンを何のイオンが通っているのか確かめるためにイオン交換膜を用いた実験をしようと考えている。

実験4 陰イオンの電子親和力による影響

4.1 仮説・動機

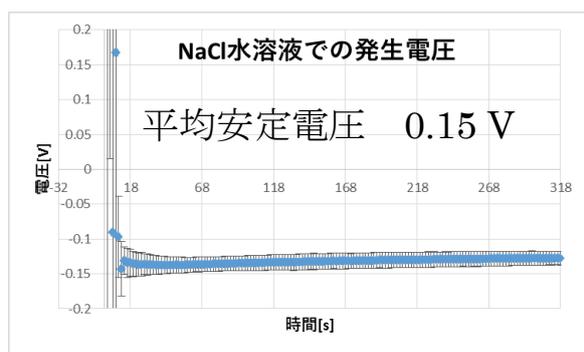
実験1より、イオンが起電力に影響を与えていることが分かった。また、NaCl、KCl という同一の陰イオンを含む水溶液での起電力のグラフのp形が似ていた。そこで、他の電解質水溶液を用いると、起電力が変化するのはいかかと仮説を立てた。

4.2 実験方法

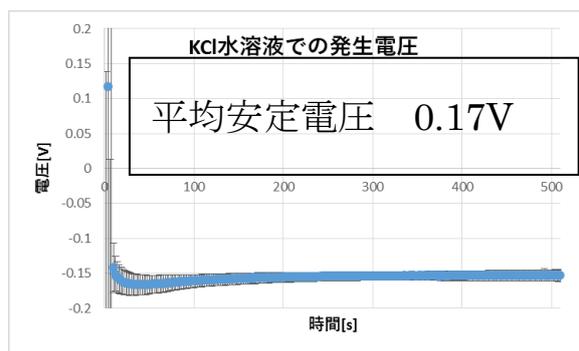
本実験で用いた電解質水溶液は NaCl aq, KCl aq, Na₂SO₄ aq, K₂SO₄ aq, ZnCl₂ aq, ZnSO₄ aq である。K₂SO₄ aq は、溶解度が 20 °Cにおいて 11.1 g/100 g 水なので 1.0 mol/L 溶液が作製できない。よって、同じ濃度比で比較するため、濃い溶液の濃度は 0.10 mol/L、薄い溶液の濃度は濃い溶液を 1000 倍希釈して 1.0×10⁻⁴ mol/L とした。

4.3 結果

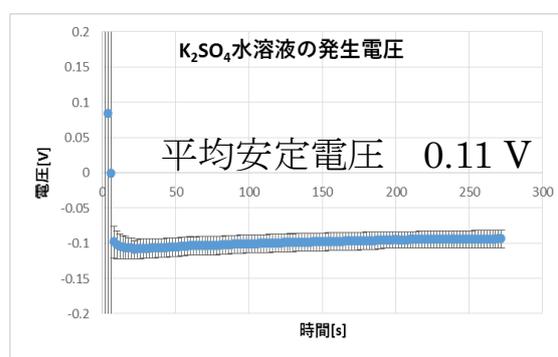
起電力の大きさが、大きいものから順に KCl aq, NaCl aq, ZnCl₂ aq, K₂SO₄ aq, Na₂SO₄ aq, ZnSO₄ aq となっている。



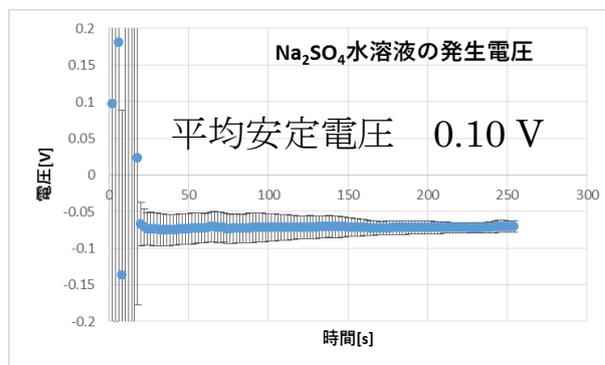
グラフ 6



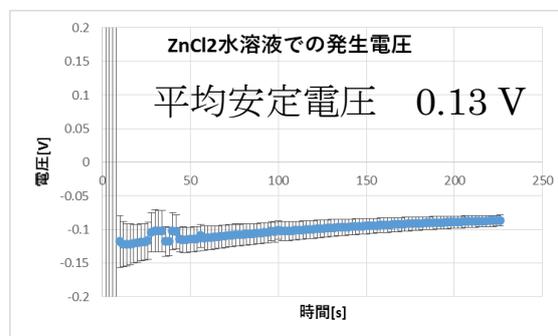
グラフ 7



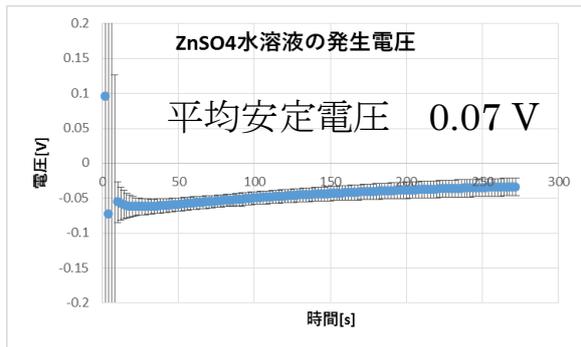
グラフ 8



グラフ 9



グラフ 10



グラフ 11

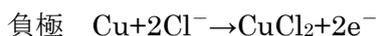
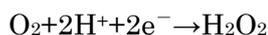
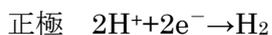
4.4 考察

グラフ 6～11 より、起電力の大きさが、大きいものから順に KCl aq, NaCl aq, ZnCl₂ aq, K₂SO₄ aq, Na₂SO₄ aq, ZnSO₄ aq となっていることから、陰イオンの安定性が小さい方が大きい方に比べて起電力が大きくなることが読み取れるため、陰イオンの安定性が起電力に影響を及ぼしていると考えられる。また、陰イオンの安定性の影響よりは小さいが、陽イオンのイオン化傾向が大きい方が大きい方に比べて起電力が大きくなることも読み取れるため、陽イオンのイオン化傾向も起電力に影響を与えると考えられる。

実験 5 溶存酸素の影響

5.1 仮説・動機

溶液中の溶存酸素が電極と反応し、起電力が生じているのではないかと考えた。文献⁵⁾より、



という反応が起こっていると考えられる。この反応が起こっていると起電力が発生すると仮説を立てた。それを確かめるため、酸素ボンベで酸素を溶かし溶存酸素を増やした電解質水溶液で実験すると、起電力が小さくなる

仮説を立て実験を行った。

5.2 実験方法

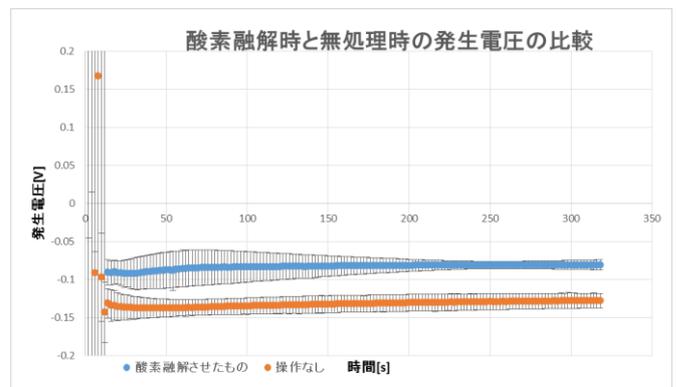
酸素ボンベで酸素を溶かし溶存酸素を増やした精製水で作成した NaCl aq を用いて起電力を測定した。

5.3 結果

起電力は以下のグラフのようになった。最大値は通常の NaCl aq と比べて低い値である。

5.4 考察

酸素融解時と無処理時の起電力の差が統計的に有意かを確かめるために、有意差水準 5% で両側検定の *t* 検定を行ったところ、 $t(5) = 8.49$, $p = 0.00$ であり酸素融解時と無処理時との間に有意差が見られた。このことから仮説の反応が起こっている訳ではなく酸素が反応の阻害要因となる反応が起きているということが分かった。



グラフ 12

4. まとめ

実験 1～4 より、イオンの移動速度、水溶液中のイオン以外の物質、が起電力に影響を及ぼしていないと考えられる。実験 1 より溶液の電解質が起電力発生の原因となっている。KCl aq > NaCl aq > ZnCl₂ aq > K₂SO₄ aq > Na₂SO₄ aq > ZnSO₄ aq という起電力の大きさの順番より、それぞれの陽イオンや、陰イオンの

種類が起電力発生に関係していると考えられる。また実験 5 より溶解酸素が反応の阻害要因となる反応が起きているということが分かった。

学会 発行：2002.06

今回はイオンの種類が起電力の発生に関係していると考えられたので、今後は陽イオン交換膜や陰イオン交換膜などを用いる実験を考えている。

5. 謝辞

昨年度の日本科学協会サイエンスメンター制度でメンターをしてくださった岡山理科大学 工学部バイオ・応用化学科教授 富永敏弘先生、岡山理科大学教育学部初等教育学科教授 高原周一先生には、実験器具の貸し出しをしていただき、研究の助言をいただきました。ここに感謝の意を示します。

6. 参考文献

- 1). 大野さくら論文「Difference in Concentrations of Electrolyte Solution in Chemical Cells producing Electro Motive Force」第70回日本物理学会 Jr.セッション 優秀賞
- 2). . 和光純薬工業株式会社 ダイアライシスメンブラン, サイズ 36
<http://www.siyaku.com/uh/Shs.do?dspCode=W01W0104-3094> (2016.04.16)
- 3). イオン半径
<http://research.kek.jp/people/nakao/lab/info/ionradii.html> (2016.09.24)
- 4) 理科年表 2017 p512 イオンの極限モル伝導率
- 5) 教育現場からの化学 Q&A 編集：日本化

酵母菌を包み、胃を通過させる To wrap yeast and let it go through the stomach

藤原つづみ 三澤遥 三宅彩花 湯浅愛

指導者：野津俊朗 岡田勝秀

要旨

酵母菌は、生きたまま腸に届くと、腸内環境を整えることが知られている。しかし酵母菌を経口摂取しても腸に届く前に胃酸で死滅する。そこで私たちは生きたままの酵母菌を腸まで届けるために、胃酸で溶けにくいもので酵母菌を包もうと考えた。結果として、酵母菌を寒天で包むと、胃酸に長時間浸されても、酵母菌が生きたまま存在できることが明らかとなった。

It is widely known that the living yeast regulate the function of the small intestine. However, the yeast will be killed by stomach acid before reaching the intestine if it is ingested orally. In this study, we tried to cover the yeast with acid insoluble material in order to deliver it into the intestines alive. As a result, it was discovered a kind of agar showed the best acid tolerance.

キーワード：酵母菌、胃酸、寒天

1. 序論

生きた酵母菌が腸に届くと発酵作用により、糖分をアルコールと炭酸ガスに分解し、取り過ぎた糖分の吸収を抑え、腸内環境を整える。酵母菌は体内での発酵過程において、必要のないアルコールや炭酸ガスを体外へ排出する際に、一緒に酵素も作り出す。また、酵母菌にはタンパク質、ビタミン、βグルカンなどの栄養素が多く含まれている。しかし、酵母菌の生育限界はpH3なのに対して胃はpH1~2なので、腸に届く前に死滅してしまう。そこで私たちは、生きた酵母菌を腸まで届けるために、酵母菌を包もうと考えた。先行研究¹⁾よりアルギン酸ナトリウムと塩化カルシウムで固定化酵母を作る方法があるが、酵母菌を食べることが目的のため食べやすいゼラチン、寒天を選んだ。

擬似胃酸に寒天①、ゼラチン、寒天②をつけた結果、ゼラチンは溶けて原形を留めていなかった。さらに図1より胃で消化されない寒天①と寒天②を使用した。よって酵母菌を寒天①、寒天②で包むと胃で死滅せずに腸まで生きて届けることができると考

えた。この研究で使う寒天①は市販の食品用の寒天、寒天②は学校で保管してある実験用の寒天。本研究で使用した寒天①②は胃で約1~2時間で消化することが分かっている²⁾³⁾。

以下に発酵の化学反応式を示す。



	寒天②	ゼラチン	寒天①
主成分	食物繊維	タンパク質	海藻
消化	されない	される	されない
酸の耐性	やや強い	やや弱い	弱い

図1 寒天②、ゼラチン、寒天①の性質⁴⁾

2. 研究内容

- (1) キウイ、オレンジ、リンゴなどから酵母菌をとる。
この中から酵母菌が最も多かったキウイでキウイ水を作る。
- (2) キウイ水で培養した酵母菌を培地に植え付ける。
培地から採取した酵母菌をグルコースが入っている水で培養する。これから今回作ったものをグルコース水とする。

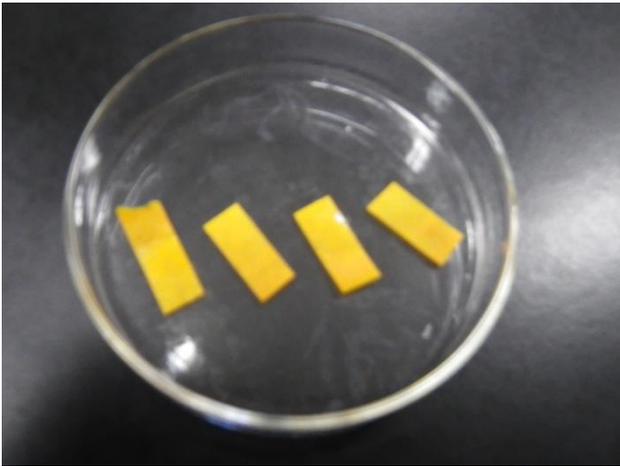


図2 グルコース水の pH

実験

<目的>

疑似胃酸を作り疑似胃酸によって酵母菌が死滅してしまわないように、寒天①、寒天②で包んで、耐性を調べる。

<仮説>

疑似胃酸につけても酵母菌が死滅せず、酵母菌の数が変わらない。

<薬品・器具>

疑似胃酸 (塩化カリウム 1.0g と精製水 500ml を混ぜ、それに希塩酸(1.2mol/L) 63.6ml を加えて混ぜ、最後にペプシン 1.6g を加えて混ぜメスフラスコに入れる)

精製水

こまごめピペット

10ml ビーカー

50ml ビーカー

100ml ビーカー

シャーレ

<実験方法>

- (1) あらかじめグルコース水のうち最も酵母菌が多くみられたグルコース水から、酵母菌を取り出し寒天①、寒天②で包む。
- (2) 疑似胃酸を 20ml 入れた 50ml ビーカーを 2つ用意し、その中に(1)の寒天①、寒天②それぞれ入れる。



図3 疑似胃酸につけた様子

- (3) 0分から90分まで15分ごとに取り出し精製水で洗ってから漬す。
- (4) 精製水で100倍希釈し、培地に植える。

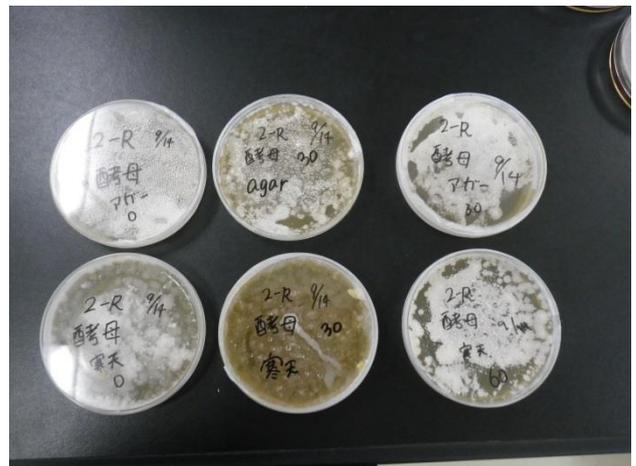


図4 培養した酵母菌

<結果>

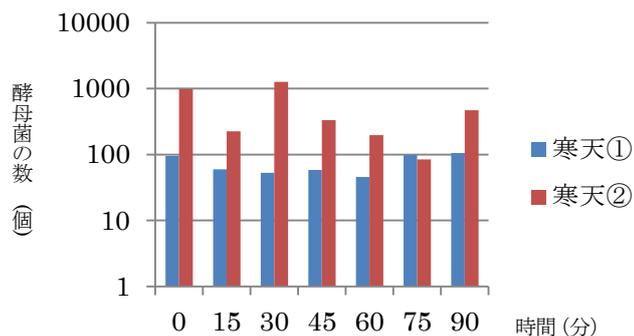


図4 寒天①と寒天②の酵母菌数

3. 結論

実験より酵母菌を寒天①や寒天②で包むと、1～2時間擬似胃酸につけても酵母菌の数はほとんど減らないことが確認できた。このことより酵母菌を包むことによって長時間、強酸性の場所においても生存できると考えられる。

今後の課題として温度などの周りの環境をより胃に近いものにしていき、正確な実験方法を考案し、実行していきたい。また、この方法が他の菌でも使用できるのかを明確にしたい。

4. 参考文献

- 1)岸本憲明(他)：固定化酵母を用いたワイン醸造
近畿大学資源再生研究所報告
- 2)鈴木 奏子：よくわかる最新からだのしくみと
ふしぎ．秀和システム
- 3)川畑 浩久：セラピストのための解剖生理学の教
科書．ナツメ社
- 4)大越 郷子：冷たいスイーツ．ブティック社

植物の負傷時における植物性乳酸菌の一般細菌に対する抑制効果

The antibacterial effect of plant lactobacillus against increase in general bacteria which works when a plant is injured

岡田啓佑 笹野玲音 永山智也 秋永結香 樋口幸希
指導者：野津俊朗 岡田勝秀

要旨

乳酸菌と植物の共生メカニズムを植物の傷の治癒と関連付けて研究を行った。本研究では葉をすりつぶした状態を傷ついた状態の仮説として実験した。細菌の数の経時変化から「乳酸菌が作り出す物質（乳酸など）による pH 値低下により一般細菌の抑制をしていること」を検証した。

We researched and connected a lactic acid bacterium and the symbiosis mechanism of the plant with the healing of tissue damages to the plant. We tasted the ground leaves instead of the actual damaged plants. We examined that “the decrease in pH level prevent the increase of various germs with material (including the lactic acid) which a lactic acid bacterium created” during a bacterium change of standing.

キーワード:植物性乳酸菌, 抑制効果, 一般細菌 (乳酸菌を除く), BCP 寒天培地, 酸性生育限界値

1. 序論

植物に由来する乳酸菌は、植物性乳酸菌とよばれる¹⁾²⁾。植物と乳酸菌は共存しているという論文がある。また、植物の葉の表面に乳酸菌が存在するという論文もある。そこで「植物と乳酸菌が共存しているのは、お互いに何らかの利益を与えているか、またはどちらか一方が利益を受けているからである。」と考えた。そして他の文献を調査してもこのことを明らかにしているものはなかった。したがって植物が自然界で一般的に生じる傷に対して、乳酸菌が傷口に集まり、集まった乳酸菌が乳酸を生成し pH を低下させ一般細菌が繁殖するのを抑制しているのではないかと仮説を立てた。培養実験を通して経時変化から一般細菌の増減を分析することにより、仮説を立証している。

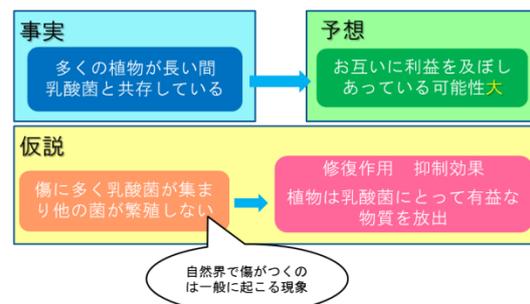


図1 序論イメージ図

2. 研究内容

<目的>

乳酸菌の植物に対する一般細菌への抑制効果を調べる。

※葉をすり潰した瞬間を葉が傷ついた瞬間と考える。

<薬品・器具>

精製水, 乳棒, 乳鉢, アルコール消毒液, 滅菌シャーレ, オートクレープ, 14mL ポリプロピレン ラウンド・チューブ (FALCON チューブ 352059), コンラー

ジ棒, プレパラート, 光学顕微鏡, BCP 寒天培地, 標準寒天培地「ダイゴ」

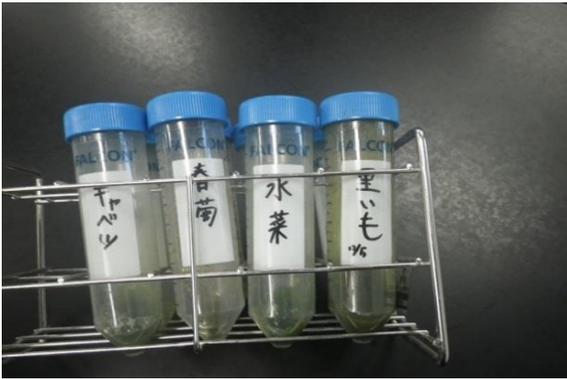


図2 すり潰した試料が入ったチューブ

<試料>

キャベツ, 春菊, 水菜, 里芋

※1) 本実験の前にシクラメンやニチニチソウなどの食用以外の植物を用いて実験を行っていたが乳酸菌自体が少ないため正しいデータを計測することができなかつたので野菜を用いた。

2) 旬の野菜の葉を用いた。

3) 漬物は乳酸発酵を利用するので漬物として利用される野菜を選んだ。

<培地について>

[BCP 寒天培地]

乳酸菌数を測定するための培地。

乳酸菌は、ブドウ糖を発酵し酸を出すことで、pH指示薬に含まれているブロムクレゾールパープル (BCP) が pH5.2 未満に変わるならコロニー周辺で紫から黄色に変色する。



図3 使用した培地

<pHによる変色域>

BCP	黄色	5.2 - 6.8	紫色
-----	----	-----------	----

<作り方>

- BCP の粉末を 7.41g 量る。(水 1L に 24.7g で、300mL の水を用いたため。24.7g/L×0.3L=7.41g)
- 精製水に量った粉末を入れる。
- 加熱しながら沸騰直後までガラス棒で混和する。

④121℃で 15 分間オートクレープする。

⑤15 個のシャーレに 20ml ずつ分注し平板培養する。

<<組成>>

24.7g (1L分) 中

酵母エキス	2.5g
ペプトン	5.0g
ブドウ糖	1.0g
ポリソルベート80	1.0g
L-システイン	0.1g
ブロムクレゾールパープル	0.06g
カンテン	15.0g

pH7.0±

[標準寒天培地]

一般細菌の平板数計算に用いられる。BCP 寒天培地と比較するために用いる。

<<作り方>>

- 準寒天培地の粉末を 7.05g 量る。(水 1L に対して 23.5g であり、300mL の精製水を用いたため。23.5g/L×0.3L=7.05g)
- ②～⑤は BCP 寒天培地と同様。

<<組成>>

カゼイン - スイ消化ペプトン	5.0g
酵母エキス	2.5g
ブドウ糖	1.0g
カンテン	15.0g

pH7.0±0.2

<実験方法>

- 各試料の葉を 4g に測定し、精製水を 10mL 加えすり潰す。これを FALCON チューブに移す。
- 作成した試料の原液を 0.5mL ずつ培地に添加し、コンラージ棒を用いて全体に広げる。原液を 100 倍 (キャベツ再測のみ 100 万倍) に希釈したのも同様に行う。
- 30℃に設定した恒温器で 2 日間培養する。FALCON チューブは常温で日当たりの良い場所に置いておく。
- 同種類と思われるコロニーをそれぞれ数えて検鏡する。ただし、BCP 培地は酸生成が行われている場所 (黄色に変色している部分) と酸生成が行われていない場所 (紫色のままの部分) の 2

箇所に分けて観察する。

- ⑤ 同様の操作を2日間隔で行い、並行して毎日FALCON チューブ内の試料の pH 値の経時変化を測定する。乳酸菌を増やすために時間を置いた



め1日目は測定しない。

図4 酸生成により変色したBCP培地

<結果>

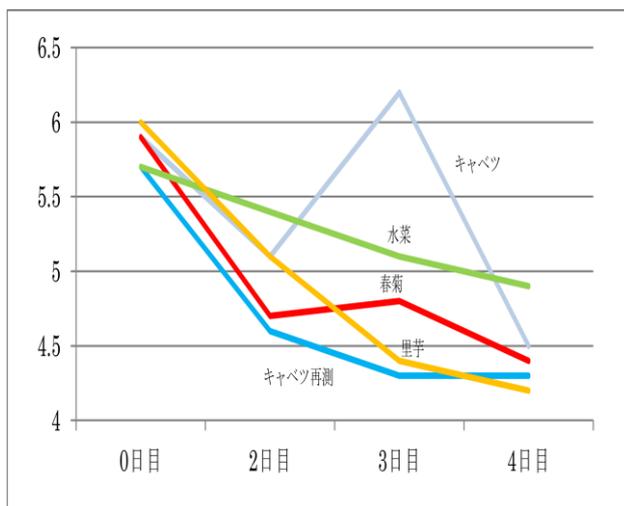


図5 pH 値の経時変化 (縦軸は pH 値)

表1 pH 値の経時変化

試料	0日目	2日目	3日目	4日目
キャベツ	5.9	5.1	6.2	4.5
キャベツ再測	5.7	4.6	4.3	4.3
春菊	5.9	4.7	4.8	4.4
水菜	5.7	5.4	5.1	4.9
里芋	6	5.1	4.4	4.2

※1日目は乳酸菌を増やすために時間を置いたため測定しない。

表2 コロニーの個数

試料	コロニーの数(0日目)	コロニーの数(2日目)	菌の種類
BCP培地	0.3×10^6	5.0×10^6	短桿菌
標準寒天培地	0	3.3×10^6	短桿菌

表3 コロニーの観察結果

試料	BCP培地の色	菌の種類
キャベツ	黄(一部紫)	短桿菌
春菊	黄(一部紫)	短桿菌
水菜	黄	短桿菌
里芋	黄(一部紫)	短桿菌、酵母
キャベツ	黄	短桿菌
春菊	黄	短桿菌
水菜	黄	短桿菌、酵母
里芋	黄	短桿菌
キャベツ	—	短桿菌、長桿菌
春菊	—	短桿菌
水菜	—	短桿菌
里芋	—	短桿菌、長桿菌
キャベツ	—	短桿菌
春菊	—	短桿菌
水菜	—	短桿菌
里芋	—	短桿菌

	BCP(原液)
	BCP(100倍)
	標準(原液)
	標準(100倍)

図6 表3の各色に対応する培地

<考察>

一般細菌の酸性生育限界値は参考文献³⁾より pH5.0 ~ 5.5 であり、また、乳酸菌の酸性生育限界値は pH4.0 であることが分かる。今回の我々の実験で、培養2日目の時点で pH 値が 4.7 を示す試料があり、なおかつ BCP 培地が一面に変色していたことから、酸生成があったことが分かる。黄色く変色していた部分のコロニーを顕微鏡で観察したところの部分でも短桿菌の存在を確認することが出来た。一般細菌の酸性生育限界値は pH5.0 ~ 5.5 であるので pH5.0 以下の状態で存在するこの短桿菌は乳酸菌である可能性が高いといえる。酵母菌の酸性生育限界値は pH3.0 であるが乳酸菌と酵母菌では大きさが異なるため酵母菌でないことがわかる。また pH が 5.0 以下になっていない培地に現れたコロニーの形状や色から、この培地においても乳酸菌が存在すると考えられる。今回の場合春菊は培養2日目から pH 値の低下が起きたのに対して、里芋は培養3日目から pH 値の低下が起きたことより、植物にはそれぞれ違う種類の乳酸菌が存在し、効果を発揮するまでの時間がずれている可能性がある。

3. 結論

植物性乳酸菌の増加により傷つけた植物が pH5.0 未満になったことから乳酸菌が乳酸発酵して pH 値を低下させ一般細菌の増殖を抑制したことがわかる。ただし、このことはすべての植物に対して言えるわけではない。

今後の課題として、植物性乳酸菌により一般細菌の増殖が抑制される植物に共通するものを発見するためにより多くの植物を調べ、傷ついていない植物での pH 値の変化から傷をつけたことで pH 値の減少が起こったということを明確にしていきたい。

4. 参考文献

- 1) <https://www.gene.affrc.go.jp/pdf/manual/micro-15.pdf>
- 2) <http://www.health.ne.jp/library/3000/w3000762.html>
- 3) <http://www.supkomi.com/univ/lactobacillus/1act-vegetable.html>
- 4) <http://www.toholab.co.jp/info/archive/1512/>

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

The study on the influence of short term temperature rise on autotomy of planarians

有地 大哉 江田 智彬 京免 珠生 永山 龍那

指導者：野津 俊朗 浅原 芳弘

要旨

プラナリア(*Dugesia japonica*)は有性生殖と無性生殖を行い、特に強い再生能力で知られる。無性生殖時には主として咽頭の下で自切を行う。自切を促進する要因のひとつは温度変化である。一般に高温下の方が低温下より自切が起きやすいとされている。本研究では実験において飼育水の温度を低温から高温に短期間だけ変え、プラナリアの自切数を測定することで、プラナリアの自切が促進されるためには 18°C で 3 日間飼育する必要があると分かった。

Abstract

Planarians do both sexual reproduction, and asexual reproduction. They are known for their ability of asexual reproduction. They do autotomy under the pharynx when they do asexual reproduction. It is said that the high temperature facilitate autotomy and reproduction of planarians. In experiment, the effect of short-term rise of temperature to autotomy of planarians was researched. The number of planarians which did autotomy is counted condition of the defer of temperature. As a result, facilitating autotomy of planarians needs more than 48~72 hours heating.

キーワード：プラナリア、自切、温度変化

1. はじめに

プラナリア(*Dugesia japonica*)は強い再生力で知られ、有性生殖と無性生殖の両方を行う。

無性生殖では主に咽頭の下で自切がおきる。20°C程度の高温下では自切の頻度が高いと言われている。本研究では日本に広く分布しているプラナリアの一種であるナミウズムシを用いて、プラナリアの自切に

影響を与えうる要因について調査を行った。

要因とは水温の変化である。一般に温度が高いほどプラナリアが自切しやすいと考えられているが、自然界では季節に応じて水温が変化している。また、実際に低温で飼育していたプラナリアを水温 18°Cの飼育環境に移すと自切が起こりやすいという傾向がみられた。そこで低温で飼育し自切を抑えた個体を短期間だけ高温の飼育環境

に移し、自切頻度を調査した。

実験では 13°Cで飼育していたプラナリアを 1~3 日間 18°C、の飼育環境に移すことで自切頻度が上昇するかどうか調査した。



Fig.1 プラナリア

2. 実験

<仮説>

一時的にでも飼育環境の温度が上がればプラナリアの自切は促進される。

<方法>

- (1) 13°Cで長期間飼育されたプラナリアを用意する。
- (2) あらかじめ 18°Cに調整された水にプラナリアを 20 匹移す。これを複数用意する。対照実験として 11~13°Cにおいても 20 匹のプラナリアを隔離する。
- (3) 一日経過後、2 で用意したプラナリア 20 匹を 11~13°Cに戻す。二日、三日経過後も同様の作業を行う。
- (4) 自切の有無を確認するため毎日プラナリアの個体数を数える。

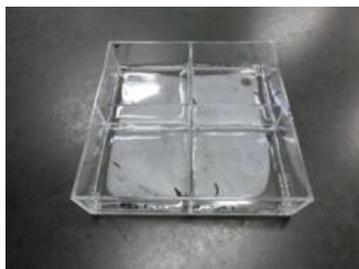


Fig.2 飼育容器

<結果>

実験の結果を表 1,2 と Fig.3~7 に示す。

ただし表 2, Fig.4,5,6 において、

- A 13°C 対照 (7 回の平均)
- B 18°C 1 日 (7 回の平均)
- C 18°C 2 日 (7 回の平均)
- D 18°C 3 日 (4 回の平均)
- E 18°C 対照 (6 回の平均)

である。

また横軸は経過日数である。

表 1 加温日数に対する
7 日後のプラナリアの増加数

加温日数[日]	7 日後の個体の増加数[匹]
0	-0.143
1	1
2	2.857
3	15
7	13

表 2 経過日数に対する
プラナリアの個体数の変化

経過日数	A	B	C	D	E
0	0	0	0.00	0	0
1	-0.33	0.43	0.86	1.33	0
2	-0.5	0.6	3.00	13.5	4.75
3	-0.5	0.75	3.25	14	10
4	0.33	1.330	7.00	15.3	17.5
5	0.33	2.5	4.00	13	11.5
6	-0.2	0.4	1.40	14	13.25
7	-0.2	0.4	2.67	16.5	12

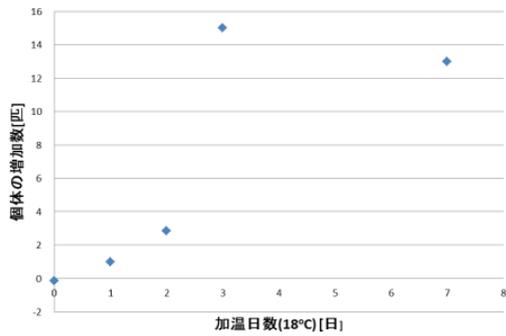


Fig.3 各加温日数に対する
プラナリアの増加(自切)数

Fig.3 において横軸は 13°C から 18°C に加温した日数、縦軸は 7 日間経過時点でのプラナリアの増加数を示している。

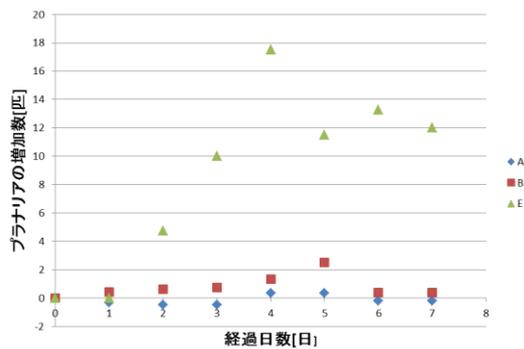


Fig.4 経過日数に対する
プラナリアの増加(自切)数

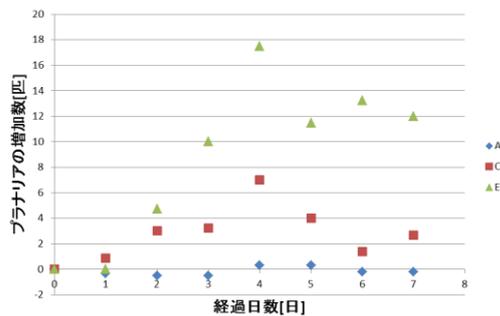


Fig.5 経過日数に対する
プラナリアの増加(自切)数

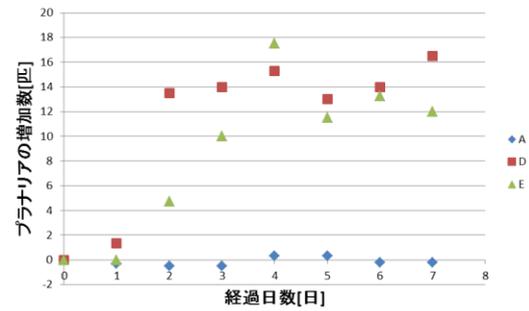


Fig.6 経過日数に対する
プラナリアの増加(自切)数

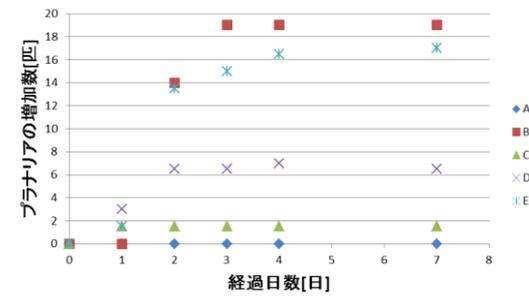


Fig.7 経過日数に対する
プラナリアの増加(自切)数

ただし Fig.7 において

- A 13°C 対照
- B 18°C 対照
- C 18°C 1 日
- D 18°C 2 日
- E 18°C 3 日

であり、Fig.7 上のすべてのデータは、同時に行った二回の実験の平均値である。

<考察>

Fig.3 から、飼育環境を加温する日数が 2 日を超えるとプラナリアの個体の増加数が大幅に上昇していることと、3 日間の加温と 7 日間の加温では個体の増加数に大きな差がないことがわかる。これらのことから 13°C から 18°C への、飼育環境に対する 3 日間の加温でプラナリアの自切は十分に起

こると考えられる。

Fig.4 から加温日数が 1 日の場合において、加温日数 0 日 (13°C 対照) の場合よりもわずかにプラナリアの増加数が多いが大きな増加は見られないことがわかる。

Fig.5 から加温日数が 2 日の場合において、加温日数 0 日の場合よりも増加数が多いが 18°C 対照と比較して急激な増加は見られないことがわかる。

Fig.6 から加温日数が 3 日の場合において、18°C の対照区と同程度の個体数の増加がみられた。経過日数 2 日の段階で個体数が急激に増えているのはデータ数不足による誤差(個体差)であると考えられる。実験を行った時期や個体差、データ数の差による影響を減らすために Fig.7 では同時行った 2 回の実験について平均値を算出した。

Fig.7 において加温日数が 1 日間の場合 2 日目以降大きな増加がみられず、加温日数が 2 日間の場合 3 日目以降大きな増加がみられないことがわかる。

加温後も温度を下げる(18°C→13°C)と自切が抑制されるのではないかと考えられる。

3. 結論

13°C から 18°C への飼育環境に対する 3 日間の加温でプラナリアの自切は十分に起こる。つまり短期間の温度上昇によってプラナリアの自切が促進されるといえる。

ただし、加温後でも、18°C から 13°C に飼育環境の温度を下げると自切が抑制される可能性がある。

4. 今後の課題

温度変化について、プラナリアを高温下においておく時間、温度の条件を増やして実験することで、プラナリアの分裂を促進、抑制する条件を正確に分析したい。

個体差が生じる原因として、各プラナリアごとに前回の自切から経過した時間にはばらつきがあることが挙げられる。

また本実験で使用したプラナリアは本来有性系なので、低温で管理すれば有性生殖をおこなう個体が生じる可能性がある。低温化で飼育している個体が有性化すれば自然界でプラナリアが季節に応じて有性生殖と無性生殖を切り替えていることが示唆される。

5. 参考文献

- 1) 手代木渉：プラナリアの生物学—基礎と応用と実験 (1987)
- 2) 宮崎武史：プラナリア実験観察図鑑. 星雲社,pp51-52 (2016)
- 3) 小林一也、松本緑、星元紀：プラナリアにおける生殖戦略転換機構 (2004)
- 4) 兵庫県立三田祥雲館高等学校：プラナリアの高密度分裂抑制機構 (2011)
- 5) 小林一也：プラナリアの生殖方法を無性生殖から有性生殖に転換させる化学物質 (2009)