

Title	文系学生を対象とした新しい生理学実験： 原生生物ゾウリムシの繊毛運動の抑制と回復
Sub Title	A New Physiological Experiment for Non-Science Major Students : Arrest and Recovery of Ciliary Motility on Protozoa Paramecium Using Metal Ions
Author	高橋, 利幸(Takahashi, Toshiyuki) 伊藤, 篤子(Ito, Atsuko) 長谷川, 由利子(Hasegawa, Yuriko)
Publisher	慶應義塾大学日吉紀要刊行委員会
Publication year	2009
Jtitle	慶應義塾大学日吉紀要. 自然科学 (The Hiyoshi review of the natural science). No.46 (2009.) ,p.43- 55
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	研究ノート
Genre	Departmental Bulletin Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN10079809-20090930-0043

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

文系学生を対象とした新しい生理学実験

—原生生物ゾウリムシの繊毛運動の抑制と回復—

高橋利幸*・伊藤篤子**・長谷川由利子**

A New Physiological Experiment for Non-Science Major Students

—Arrest and Recovery of Ciliary Motility on Protozoa *Paramecium* Using Metal Ions—

Toshiyuki TAKAHASHI, Atsuko ITO and Yuriko HASEGAWA

はじめに

近年、厚生労働省による食品の栄養表示基準により、ミネラルとして亜鉛、カリウム、鉄、銅など複数の金属元素の表示が義務づけられ、金属元素と我々の食生活は極めて身近なものとなっている。生体における金属元素の有用性として、金属元素が生体内で働くタンパク質の活性を制御している場合が多数知られている。酸素運搬に働くヘモグロビンやミトコンドリアで電子伝達系を担うシトクロムcは鉄(Fe)を含み、DNA損傷の原因となる活性酸素を消去するスーパーオキシドジスムターゼは、銅(Cu)や亜鉛(Zn)をその活性中心に含む。また、ナトリウム(Na)やカリウム(K)は、細胞内外で電気化学的勾配をつくり、静止電位および活動電位の形成や興奮の伝導に関与する。一方、アルミニウムの蓄積によるアルツハイマー病や水銀中毒による水俣病など金属元素の過剰摂取による疾病や公害も多数報告されている。上述した現代の社会背景から、生体における金属元素の機能(『有用性』と『毒性』)を知る事は、自己の生活に密着した学問として生物学を捉える上で文系学生に有意義と考えられる。

生物学教室では、金属元素の生物への影響を理解させるために、原生生物のゾウリムシを用いて、繊毛運動をニッケルイオンで阻害する実験を行ってきた。この実験は、材料であるゾウリムシ自体の飼育・維持が容易であり、金属元素による影響を高度な設備なしで観察できる点から学生実験に適したプログラムである。しかし、従来の実験では、金属元素の『毒性』のみ

* 都城工業高等専門学校物質工学科 (〒885-8567 宮崎県都城市吉尾町473-1) : Dept. of Chemical Science and Engineering, Miyakonojo National College of Technology, 473-1, Yoshio-cho, Miyakonojo, Miyazaki 885-8567, Japan

** 慶應義塾大学生物学教室 (〒223-8521 横浜市港北区日吉4-1-1) : Dept. of Biology, Keio University, 4-1-1 Hiyoshi, Kohoku-ku, 223-8521, Japan [Received Mar. 27, 2009]

が強調され、金属元素の『有用性』を理解する事が難しいという問題点があった。そこで、生物学教室では、平成20年度慶應義塾大学（日吉）予算管理部門内調整費事業「自然科学実験科目の新しい取り組みと教育環境の充実（Ⅱ）」の中で、「生体金属元素の働きを理解する生理学実験の開発」をテーマとして、上記ゾウリムシを用いた実験を改良し、生体における金属元素の『有用性』と『毒性』の両者を同時に観察できる生物学実験プログラムの開発を行った。

ゾウリムシは、細胞生物学や生理学研究のモデル生物として古くから研究材料に使われてきた生物である。ゾウリムシの繊毛は、規則的な動き（有効打と回復打）を繰り返し、有効打の方向により遊泳方向を決定する。また、ゾウリムシは、環境の温度・pH・化学組成・照度などの変化に対して、繊毛運動を変化させる事が知られており、繊毛運動の変化は、回避や集合反応など個体が適した環境を選択する手段となっている。一方、繊毛や鞭毛の構造は、すべての真核生物において共通している事が知られている。そこで、我々は、ゾウリムシを実験材料として、ゾウリムシの繊毛運動を通して金属イオンの繊毛運動に与える影響を考察できる生物学実験プログラムの開発を行った。特に、本実験では、生体に対する金属イオンの『毒性』として繊毛運動を阻害する金属イオン（ Ni^{2+} ）を用い、さらに、生体に対する金属イオンの『有用性』として、繊毛運動を活発にする金属イオン（ Ca^{2+} および Mg^{2+} ）を用いる事を特徴とする。実験後、学生のレポートおよびアンケートを解析し、本開発実験の効果を検討した。

実験プログラムの内容

実験は、実験1と実験2に分けて行われた。実験1では、従来の実験と同様にゾウリムシ懸濁液と各濃度の塩化ニッケル溶液（ NiCl_2 ；0.02mM, 0.1mM, 0.3mM, 0.5mM）を1：1（各75 μl ）で混合し、 NiCl_2 濃度依存的なゾウリムシの繊毛運動の阻害を実体顕微鏡で観察する。なお、ゾウリムシ懸濁液および NiCl_2 溶液の採取には、マイクロピペットを用いる。また、ゾウリムシ懸濁液と NiCl_2 溶液は、2穴の血液反応板（図1：TOSHINRIKO社製）上で反応させる。混合後、初めの3分は連続観察し、その後は3分おきに12分まで観察させ、ゾウリムシの遊泳速度や動きのパターンの変化を表に記述する。さらに、半数以上のゾウリムシが繊毛運動を停止した時間を記録し、グラフを作成する。なお、実験1は、1人で実験を行う。

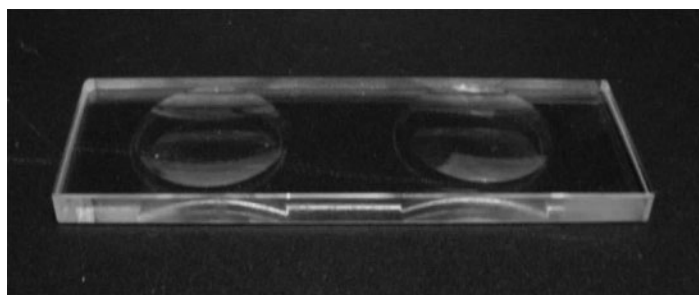


図1. 実験に用いた2穴の血液反応板

実験2では、2人一組となり、 NiCl_2 で動きの停止したゾウリムシに各種試薬（金属イオン溶液または蒸留水）を混合し、繊毛運動への影響を調べる。特に、ここでは繊毛運動の回復に着目し実験を行う。学生は、塩化カルシウム溶液 (CaCl_2 ; 100mM) と蒸留水または塩化マグネシウム溶液 (MgCl_2 ; 100mM) と塩化バリウム溶液 (BaCl_2 ; 100mM) のどちらか2種類を担当し、実験を行う。まず、実験1と同様に、ゾウリムシ懸濁液と0.2mMの NiCl_2 溶液を1:1 (各75 μl) で混合し (NiCl_2 の最終濃度0.1mM)、全ゾウリムシの繊毛運動の停止を確認する。全ゾウリムシが運動を停止後、担当する溶液を50 μl 混合し、初めの3分は連続観察し、その後は混合から5分後と10分後に観察し、ゾウリムシの遊泳速度や動きのパターンの変化を表に記述する。 MgCl_2 溶液などの混合から10分後に運動しているゾウリムシの割合 (%) を算出する。また、実験テーブル毎に班 (1班あたり6~8人) を作り、班毎にデータを集計し、平均値を算出し、グラフを作成する。

準備段階

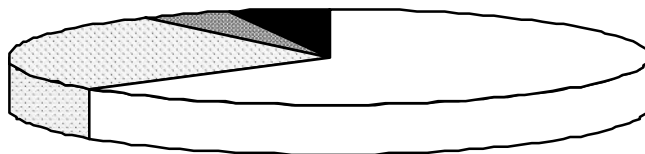
実験に用いるゾウリムシ (*Paramecium caudatum* RB-1株, syngen 4, 接合型 E) は、エサとして桿菌 (*Klebsiella pneumoniae*) を植菌したレタスジュース培養液で約2週間培養し、十分な個体数に増やしておいた。学生には50ml プラスチックチューブに入れたゾウリムシ懸濁液 (10ml 程度) を2組に1本用意した。

実験1および実験2で使用する各濃度 (実験1: 0.02mM, 0.1mM, 0.3mM, 0.5mM; 実験2: 0.2mM) の NiCl_2 溶液および CaCl_2 溶液 (100mM), MgCl_2 溶液 (100mM) と BaCl_2 溶液 (100mM) は、事前にスタッフが調整し、実験時にすぐに使用できるように準備した。また、反応容器として、ホールスライドグラスでは浅すぎるため、2穴の血液反応板を1人1枚用意した (図1)。

文系学生は、グラフや表などの作成に不慣れなため、普段使用している白紙のレポート用紙ではレポート作成に時間を必要とする事が予想される。そこで、実験方法などを記載した通常のプリント (資料1) の他に、レポート作成時間の短縮を目的として、グラフや表など必要な記入箇所をあらかじめ記載した本実験専用のレポート用紙を用意した (資料2-1および資料2-2)。

学生実験の実際

実験は、2008年11月13日に1クラス (56人) を対象に実施した。まず、導入として、実験材料であるゾウリムシの紹介と繊毛の軸糸構造や繊毛運動のメカニズムの解説と実験操作の説明をした。繊毛に関してより身近に感じさせる事を目的として、精子の鞭毛の構造との類似点やヒト繊毛病など繊毛の異常による疾患も紹介した。実験操作の説明の時には、ゾウリムシの繊毛運動が阻害された状態 (実験1) と阻害から回復した状態 (実験2) の実際の動画を上映し



- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> 問題なく実験できた | <input checked="" type="checkbox"/> 実験できた部分もあるが概ね分からなかった |
| <input checked="" type="checkbox"/> 概ね実験できたが少し分からない部分もあった | <input type="checkbox"/> 実験方法が理解できなかった |

図2. 実験後のアンケートから解析した実験操作の理解度

実験前の説明およびプリント「実験の方法」に記載した内容から実験が滞りなく進められたかどうかアンケートに答えてもらい、得られた結果を集計した。

た。ただし、実験課題にも関連するため、繊毛運動の回復を示す動画では、どの金属イオンをいれた時の状態であるかの説明は行わず、単に繊毛運動が回復した時の典型例として動画を示した。著者らの予備検討の結果、繊毛運動回復といっても、今回の実験時間内では NiCl_2 処理前と同程度の速度の動きにまでは回復しなかった。そこで、実体顕微鏡でゾウリムシの動きを注意深く観察するように説明時に注意を喚起した。実験後に提出してもらったアンケートを解析した結果、9割弱の学生が、実験前の説明とプリント「実験の方法」で実験方法を概ね理解していた(図2)。

実験1を始める前に、 NiCl_2 未処理の通常時のゾウリムシの動きのパターンや速度を実感してもらうため、レポートの所定の欄にゾウリムシの動きの軌跡を追跡させ記録した。その後、ゾウリムシ懸濁液と等量の NiCl_2 溶液を加え、ゾウリムシの動きの変化を12分間観察した。別途、半数のゾウリムシが運動を停止した時間を記録し、グラフにプロットした(図3)。

実験2では、隣の学生と2人一組で作業を行った。まず、実験1と同様に、ゾウリムシ懸濁液と0.2mMの NiCl_2 溶液を混合し、全ゾウリムシの繊毛運動の停止を確認した。著者らの予備実験では、運動停止まで約3～4分程度だが、遅くとも NiCl_2 溶液を加えてから5分以内に各々の担当する溶液を混合するよう指示した。全ゾウリムシが運動を停止後、担当する溶液を混合し、10分間観察し、ゾウリムシの遊泳速度や動きのパターンの変化を表に記述した。 MgCl_2 溶液などの混合から10分後に運動しているゾウリムシの割合(%)を計測した。班毎に実験データを集計し、得られた結果の平均値からグラフを作成した。特定の学生ペアに注目すると、実験が上手くいかず、繊毛運動が回復しなかった学生ペアもあったが、最大で1班に4人同じ実験をする学生がいるため、班全体としてみると実験は上手くいっていた。通常の個人実験や2人一組の実験では、実験を失敗した場合、レポート作成において考察に苦労するが、本実験では、全ての学生が特定の金属イオンの効果による繊毛運動の回復を確認できた(図4

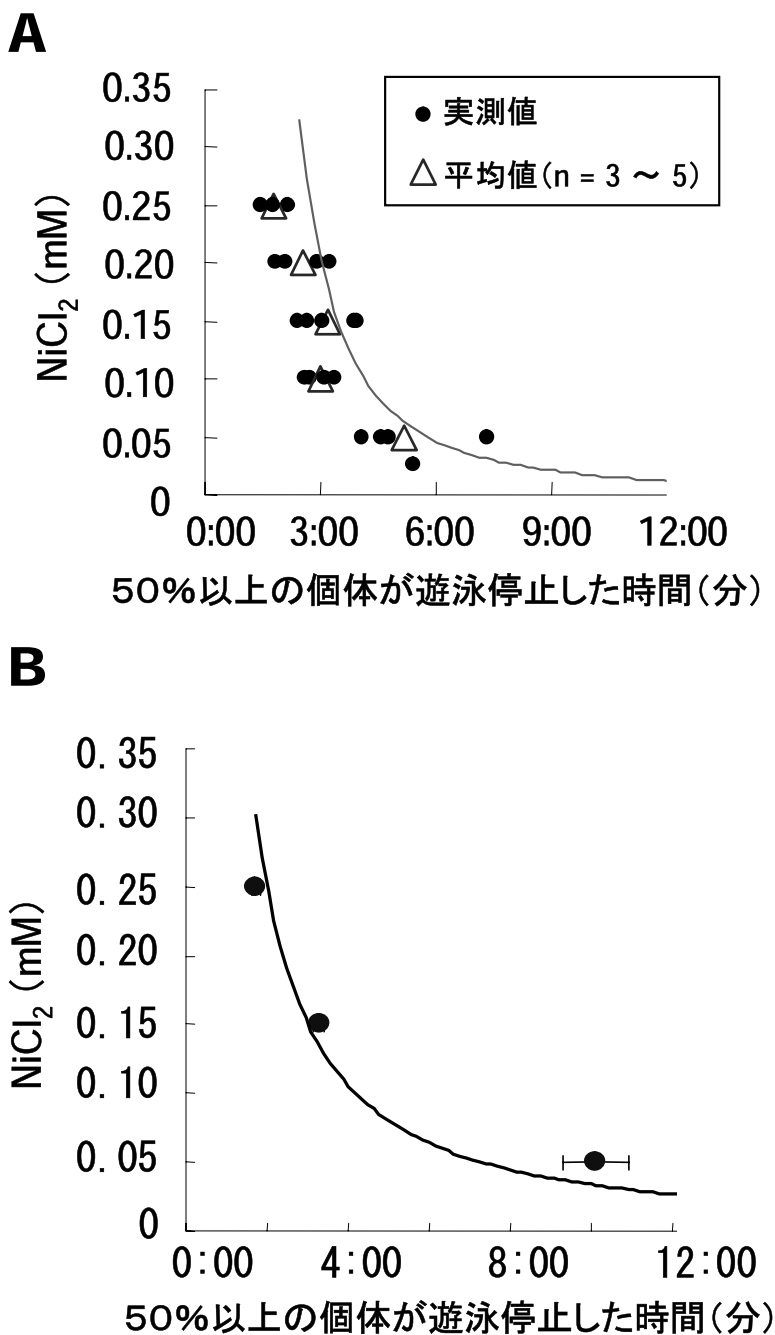


図3. Ni²⁺によるゾウリムシの繊毛運動の変化

(A) 著者らが事前に NiCl₂ の濃度検討を行った結果。なお、操作は実験の方法にしたがって行ったが、使用した濃度は必ずしも実験で用いた濃度だけではない。(B) 実験に参加した学生の結果を集計し、グラフにした (平均【●】 ± S.D.)。

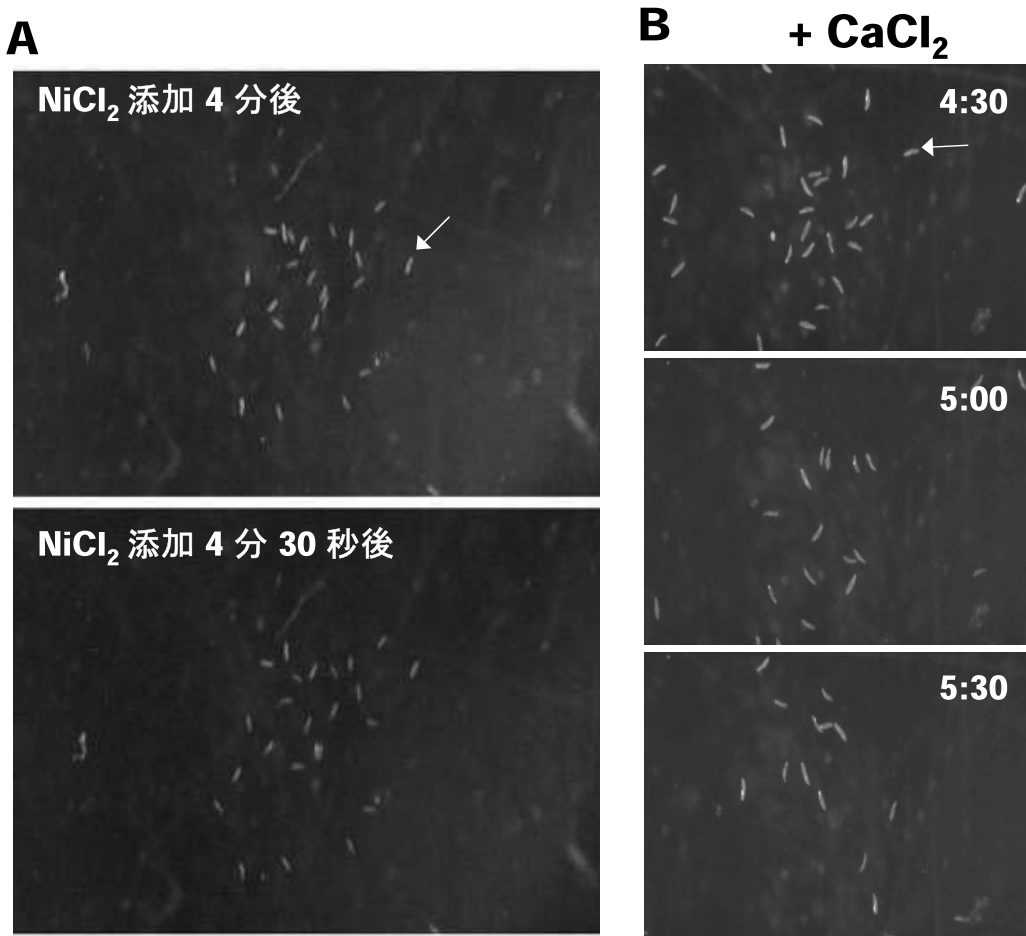


図4. 金属イオンによるゾウリムシ繊毛運動の抑制と回復

(A) NiCl₂ (最終濃度 0.1mM) 処理により繊毛運動が停止したゾウリムシと (B) CaCl₂処理により繊毛運動が回復したゾウリムシ。なお, 写真中の桿状の粒(矢印)がゾウリムシを示し, 図 (B) 中の時間は, CaCl₂添加後の時間を示す。両者とも実体顕微鏡—デジタルビデオカメラシステムによる同一視野の経時観察の結果を示している。(A) NiCl₂処理4分後以降は, ゾウリムシの動きがほとんどない事から, 繊毛運動がNiCl₂処理により阻害されている事が分かる。(B) 一方, NiCl₂処理により繊毛運動を停止したゾウリムシに CaCl₂を処理すると, 繊毛運動が再び活性化した。

—図6)。また, 実験結果を班で共有する事によって, 同じ班内の学生同士で結果をディスカッションしている様子も見られた。

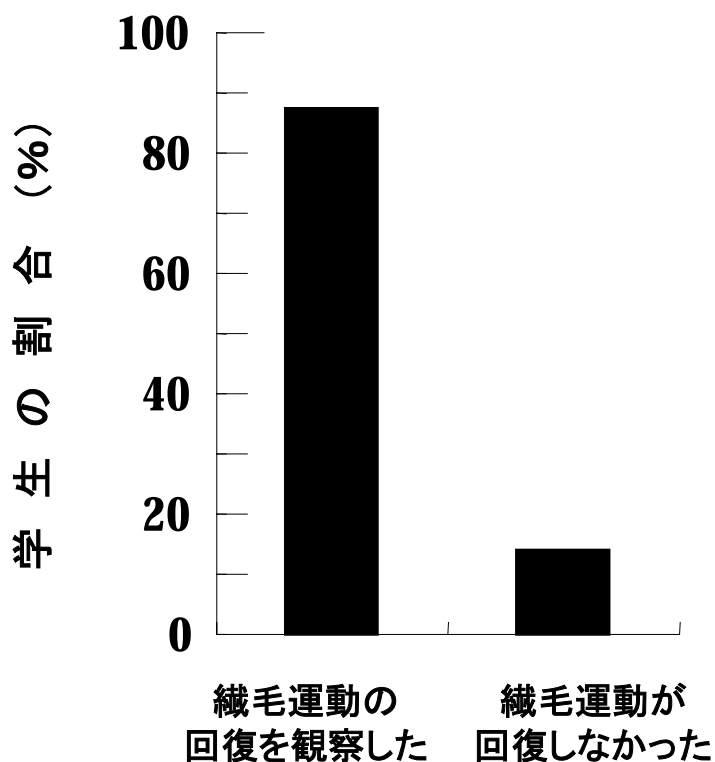


図5. 学生の提出レポートから解析した実験の成功率

学生のレポートから、 CaCl_2 処理または MgCl_2 処理で繊毛運動の回復を確認できた割合を解析した。

学生レポート

実験では、参加した全学生が、繊毛運動の回復を観察できる金属イオン溶液 (CaCl_2 溶液または MgCl_2 溶液) を担当し、約9割の学生が各自の実験で繊毛運動の回復を観察できていた (図5)。これは、本開発プログラムが、文系学生でも十分に再現性よく行える実験である事を示している。また、多くの学生が、得られた実験データの数値から現象を定量的に分析できていた。一方、蒸留水を用いた理由が、他の金属イオンに対する対照実験であると理解している学生は、6割強にとどまった (図7A)。

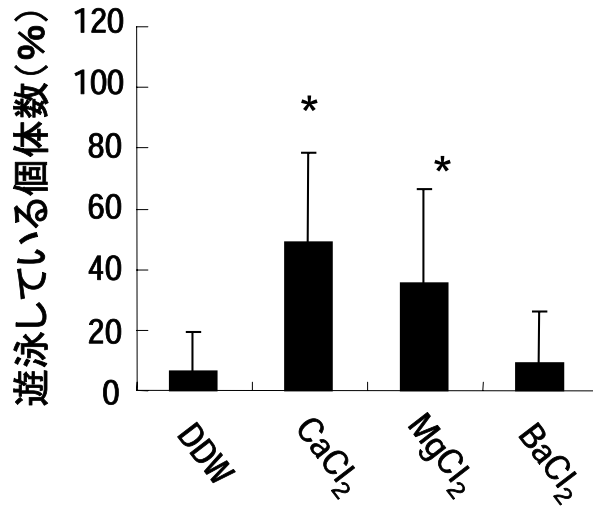
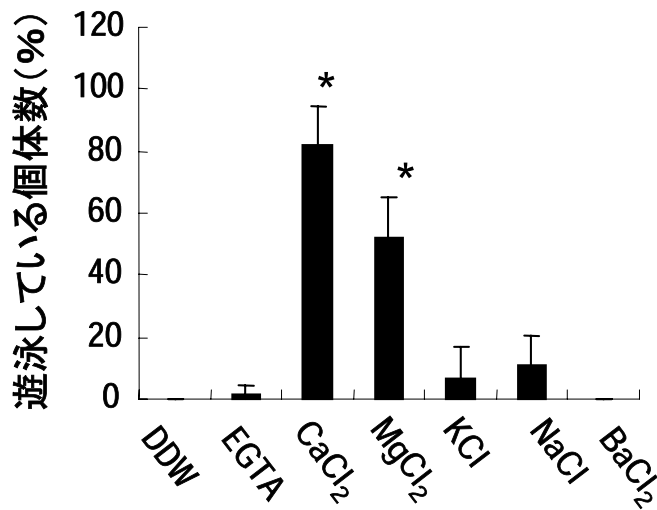
A**B**

図6. 特定の金属イオンによる繊毛運動回復の効果

(A) 実験に参加した学生の結果を集計し、グラフにした (平均±S. D.)。 (B) 著者らが事前に行った結果 (平均±S. D.)。なお、操作は実験の方法にしたがって行ったが、使用した金属イオン含有溶液は必ずしも実験で用いた溶液だけではない。*は、t検定で有意差 ($P < 0.005$) があつた金属イオン含有溶液を示す。

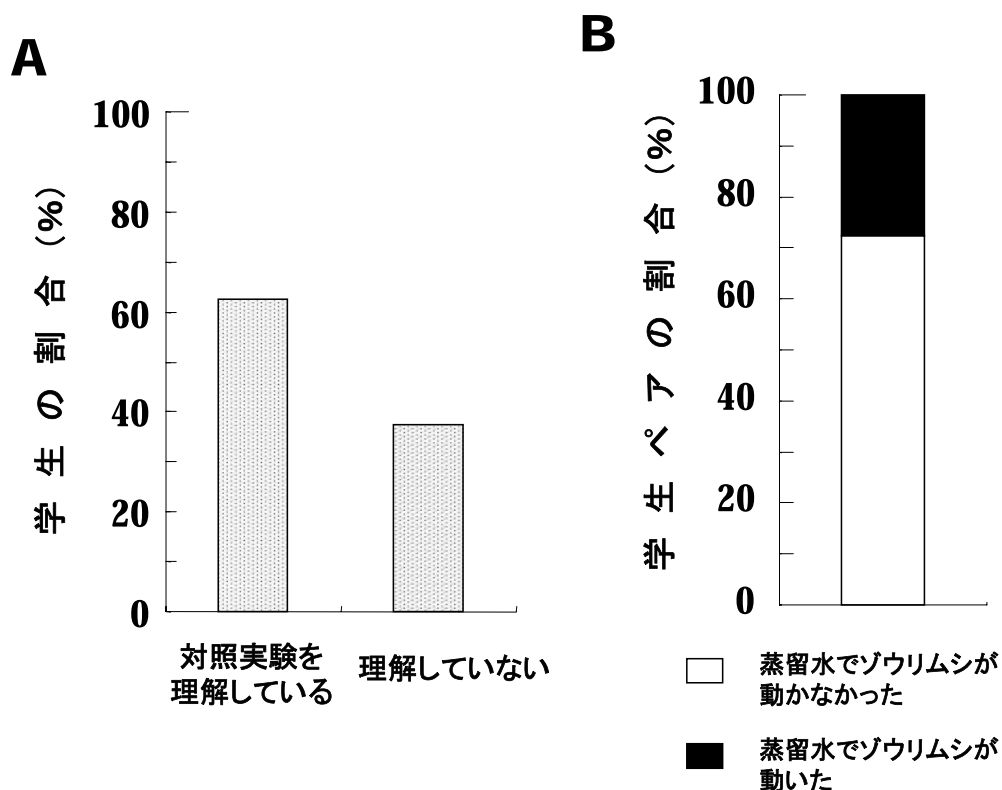


図7. 対照実験の理解と実験の成功率

(A) 学生の提出レポートから解析した蒸留水を用いた対照実験の理解度。ここで「対照実験を理解している学生」は、レポート中に「対照実験」という用語もしくは「他の金属イオンとの比較」などを記述していた人数を集計した。(B) 蒸留水を用いた実験結果を学生のレポートから集計した。

問題点

繊毛運動を回復させる効果をもつ金属イオンとして Ca^{2+} や Mg^{2+} が有効である事は、実験の成功率が高かった事もあり (図5), 多くの学生がよく分析できていた。一方, 一部の学生では, 実験で繊毛運動の回復を観察できなかつた。また, 繊毛運動の回復を観察できた学生でもその回復率にはバラつきがあつた (図6 A)。 NiCl_2 の処理を長時間 (5分間以上) 行うと, 繊毛運動の回復率が低下する事を著者らが行つた予備実験で確認している。さらに, NiCl_2 の濃度が所定の濃度よりも高くなつた場合でも繊毛運動の回復が難しかつた。これらの事実から, 繊毛運動の回復を観察できなかつた学生または回復率が低かつた学生では, CaCl_2 や MgCl_2 などの試薬を添加する時間に不備があつた可能性がある。文系学生は, マイクロピペットの操作も十分ではないため, 実験に失敗した学生は, ピペットで必要量以上を取り過ぎるなどで

NiCl_2 の濃度が高くなっていた可能性もある。

課題のひとつでもあった蒸留水を用いた対照実験への理解は十分に高いとはいえなかった(図7A)。学生のレポートを解析したところ、30%弱の学生ペアにおいて蒸留水でもゾウリムシの繊毛運動の回復が起きていた。その結果、蒸留水が他の金属イオンに対する対照実験であるという事への理解が下がったと考えられる。しかし、著者らの予備検討では、蒸留水での運動回復は観察されず、また、蒸留水を加えたとしても NiCl_2 の濃度は繊毛運動を停止できる十分な濃度を維持している。したがって、蒸留水で繊毛運動の回復が起きた事も学生のマイクロピペット操作に起因する可能性が高い。

もう1点の問題は、実験時間である。今回、反応容器として、2穴の血液反応板を用いたので、2つの別々の実験操作(例えば、 MgCl_2 処理と BaCl_2 処理)を同時に行う事で実験時間の短縮が可能である。しかし、実際には、各々の課題に最初の3分間は連続観察とあるため、多

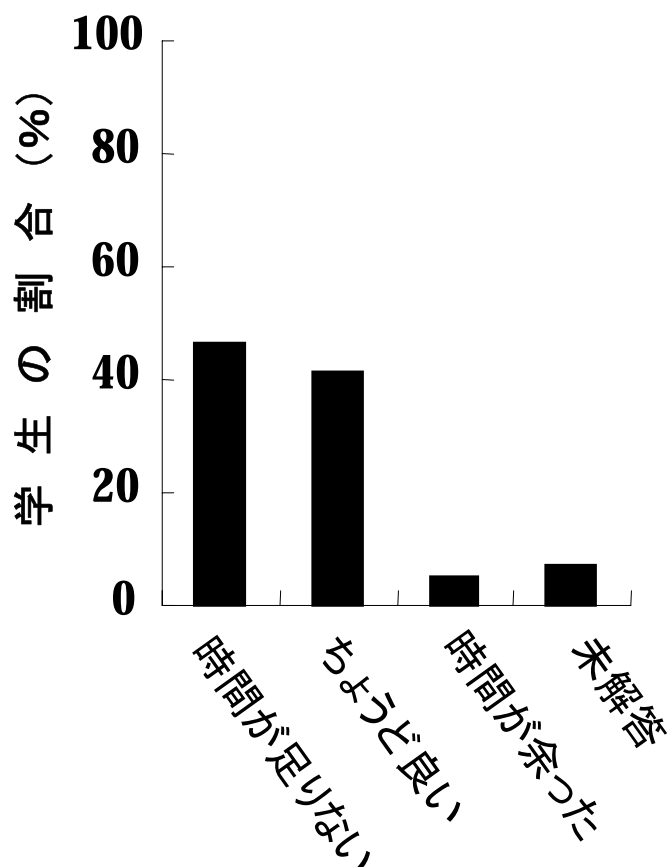


図8. 実験後のアンケートから解析した実験時間の検出

実験内容に対して、実験時間が十分であるかどうかアンケートに答えてもらい、得られた結果を集計した。

くの学生が、2穴の血液反応板の1穴しか使用しておらず、結果的に実験操作の時間が長くなった。実験1・2ともに、溶液の濃度や種類によっては、最初の3分間はほとんど変化のないものもあり、2穴の血液反応板の利点を生かして2つの別々の実験操作を同時に行う事も可能であった。図8で、時間の余った学生もいた事から、2穴の血液反応板の利点を生かして時間を有効に使った学生とそうでない学生がいたと考えられる。特に、今回の実験では、最後に班員全員のデータを集計する必要があるため、早く実験を終えた学生も同じ班の他の学生が実験を終えるのを待たねばならなかった。結果的に、受講した全学生のレポート提出時間が遅くなるという問題が生じた。

まとめ

本実験において、実験を行った学生の約9割が、実験方法を理解し、金属イオンによる繊毛運動の抑制と回復を観察できた。この事から、本実験プログラムは、文系学生でも再現性よく実験できるテーマの一つとして扱える事が分かった。実験後の感想も概ね好意的であり、学生が意欲を持って取り組んだことがうかがえる。一方、実験の時間配分や実験の課題の量については、2人一組で行う項目を増やしたり、課題の数を調節するなど今後の改善を必要とすると思われる。

謝辞

本実験プログラムは、予算部門内調整費「自然科学実験科目の新しい取り組みと教育環境の充実(Ⅱ)生体金属元素の働きを理解する生理学実験の開発」の支援によって行われた。本実験プログラムの開発に用いたゾウリムシ株は、山口大学理学部自然情報科学科 藤島政博博士から分与してもらった。また、動画資料の作成にあたって、商学部特別研究助教の菊江佳世子君に協力を得た。ここに著者一同より心からの謝意を表す。

参考文献

- 1 L. Kuźnicki, *Acta Protozool.*, 1, 310-312 (1963).
- 2 C. Andrivon, *Acta Protozool.*, 11, 373-386 (1972).
- 3 重永義信, 原生動物の観察と実験法, 共立出版 (1988).
- 4 J. Larsen and P. Satir, *J. Cell Sci.*, 99, 33-40 (1991).
- 5 宝谷紘一・神谷律, 細胞のかたちと運動, 共立出版 (2002).
- 6 V. Singla and J. F. Reiter, *Science*, 313, 629-633 (2006).

原生動物の運動と金属イオンの影響

原生動物は、一つの細胞の中に生き物として必要な様々な構造をもっており、単細胞ながら独立した一匹の生き物としての機能を備えている。なかでも繊毛虫類は原生動物の中で最も進化した生物で、高等動物の口や肛門に相当する細胞器官が発達している。今回の実習で扱うゾウリムシは、移動のための繊毛、水の出し入れによって体形の変遷を調節する収縮筋等を細胞内に持つ。この実習では、原生動物ゾウリムシを用い、その生着環境の変化に応じては様々な濃度の金属イオンによって、ゾウリムシの運動にどのような影響が与えられるかを観察する。

【目的】 ゾウリムシの形態、運動の観察、及び金属イオンのおよぼす影響を調べる

【材料】 ゾウリムシ

【器具】 実体顕微鏡、2穴ホルスライトガラス、マイクログロビペット

【試薬】 塩化ニッケル水溶液(NiCl₂・0.02 mM, 0.1 mM, 0.3 mM, 0.5 mM)、蒸留水、100nM 塩化カルシウム水溶液(CaCl₂)、100nM 塩化マグネシウム水溶液(MgCl₂)、100mM 塩化バリウム水溶液(BaCl₂)

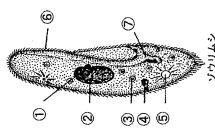
【方法】

【実験1】

①ホルスライトガラスにゾウリムシを含む培養液を 75 μl 置き、実体顕微鏡で正常な状態での運動の様子を観察する。レポート用紙①の円中に運動のパターンなどを矢印で書き入れ、赤白部分に文字で記述する。培養液 1 滴中には 10 匹程度のゾウリムシがいるはずである(ゾウリムシには食の嗜好性があり溶液上層に集まるので、培養液をよく混ぜて均一にしておくこと)。

②①のゾウリムシに、各濃度のNiCl₂溶液を 75 μl 追加してよく混ぜる。それぞれ最初の 3 分間は運動観察、その後は 3 分おきに 12 分まで観察して、運動の様子(泳ぐ速度、パターン等)にどのような影響が与えられるかを記述する(結果1表1)。

③半瓶以上のゾウリムシが止まった時間を記録し、グラフにプロットする。(結果1グラフ1)。



ゾウリムシ
Paramecium caudatum
約 200 μm

① 繊毛、② 口溝、
③ 胞肛、④ 収縮泡、
⑤ 収縮泡、⑥ 収縮泡、
⑦ 収縮泡

【実験2】

①二人一組になり、相当する溶液の組み合わせ(CaCl₂と蒸留水、MgCl₂とBaCl₂)を決める。レポート用紙の所定欄に記述する。また、同じ組を一組として相手の名前を先頭に他の組員名も記入する。

②ホルスライトガラスの円にゾウリムシを含む培養液をそれぞれ 75 μl 置き、双方に 0.2 mM NiCl₂ 溶液を 75 μl 添加後、ゾウリムシの数を数えながらゾウリムシの動きを完全に止める。

参考：全ての個体が停止するまでにかかる時間は約 3~4 分ほどである。

③0.2 mM NiCl₂ 溶液を加えてから 5 分以内(動きが完全に止まらずに)、相当する溶液を 50 μl 添加してよく混ぜる。新たに溶液を添加してから 0~3 分後、5~6 分後、10 分後に観察して、運動の様子(泳ぐ速度、パターン等)にどのような影響が与えられるかを記述する(結果2表1)。相手の溶液での様子は要点のみ記述する。

④MgCl₂などの溶液を加えてから 10 分後、運動をしているゾウリムシの数を数えて記録し、運動しているゾウリムシの割合を計算して%で表す(結果2表2)。

⑤同じ組の全ての組の結果を結果2表2に書き加え、平均値を計算して結果2グラフに棒グラフを作成する。その際、例のように全ての組の結果を点で書き加えること。

【考察】

今回、4種類の2面の金属イオンを用いたが、それらがゾウリムシに与える影響を考察せよ。

考察のポイント>

- 実験1の結果から、ニッケルイオンのゾウリムシに対する効果を考察する。
- 実験2の結果から、カルシウムイオン、マグネシウムイオン、バリウムイオンのゾウリムシに対する効果を考察する。
- 実験1と2の結果を比較し、相対的な効果の傾向を明らかにし、各イオンの効果を定量的に比較する。
- 蒸留水を加える実験を行った理由を考慮しながらデータを考察する。

資料1. 本実験に用いた「実験の方法」を示すプリント

学部 _____ 学科 _____ 年 _____ 組 _____ 学籍番号 _____ 氏名 _____

実験テーマ: _____

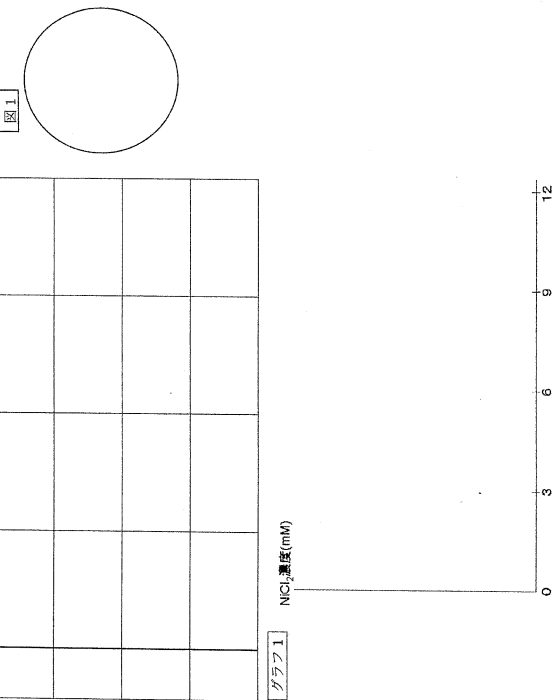
目的: _____

材料と方法: _____

結果1>

表1

0~3分	6分	9分	12分



グラフ1

NiCl₂濃度(mM)

半数のゾウリムシが止まった時間(分)

図1

資料2-1. 本実験で使用した専用のレポート用紙

結果 2 >

_____ 班 班員氏名 _____

担当試薬： 蒸留水と CaCl₂ MgCl₂と BaCl₂

表 2

総液量	0~3分	6分	10分

表 3

	蒸留水	CaCl ₂	MgCl ₂	BaCl ₂
A				
B				
C				
D				
平均				

グラフ 2

10S後に運動しているワタシの割合(%)

n= _____

0 DDW CaCl₂ MgCl₂ BaCl₂ %

100
50

平均値を記入し、標準偏差を算出せよ。

考察 >

資料 2-2. 本実験で使用了た専用のレポート用紙

