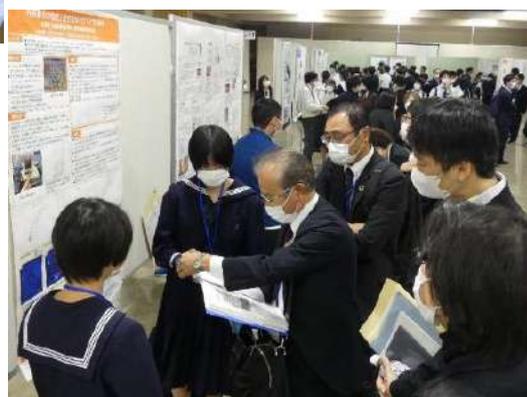


# 令和4年度 科学部の活動の記録



高

兵庫県立姫路東高等学校



# 何本かの「出る杭」が育った1年

科学部顧問 主幹教諭 川勝 和哉

本年度の科学部の活動の目標は「出る杭を育てる」でした。昨年度までは、グループ研究によって高いレベルの研究成果をあげることが目標としていましたが、その活動の中から主体的に活動し、多くの場面でリーダーとして成果を上げる生徒が現れるようになったことから、攻めの目標を立てました。SSHの指定を受けてから、部員数は次第に増え、それに伴って研究班も増えていきました。本年度は7つの大きな研究班ができ、部員生徒は複数のテーマの研究班に所属して活動しました。そのすべての班が全国上位入賞を果たすようになりました。顧問は助言にまわり、あくまでも生徒が主体的に研究テーマを決め、研究計画を立案し、研究を進めていくことが自然となっていきました。顧問の助言があったとはいえ、きちんと対外的に高い評価を得る研究論文としてまとめられたことは、顧問の予想を超えるものでした。

これらの活動の中で、国内での学会発表に留まらず、国際学会や国際的な専門学会誌に研究論文を投稿するような生徒や、複数の異なる分野の研究を並行して行い、それらのすべての専門学会で発表して高く評価される生徒が現れたことは、本年度の大きな成果です。国際地学教育学会では、女子生徒3名が本校の地球科学をベースとした学校設定科目「自然科学探究基礎」の授業について、生徒の目線で効果と改善点をまとめて発表し、世界に同時配信されました。また、この学会発表を聞いていた国際的な教育学会のエディターから論文の投稿を勧められ、あらためて論文にまとめて投稿したところ、査読を通過して掲載されるに至りました。しかもそれらが、本校が推進する女子教育の充実の成果として女子生徒によって行われたということもまた印象的です。これこそ「出る杭」でした。このような発展的な生徒主体的な探究活動を、これからも支援していきたいと考えています。

科学部顧問 教諭 内海 尊覚

本校生徒の全員が取り組んでいる課題研究において、やはり科学部の生徒はよく目立ちます。特に、研究に取り組む姿勢であったり、発表をしている振る舞いであったり、他の生徒とは違う輝きをみせています。この輝きは、科学部での日ごろの研究活動や、学会での発表での体験によって磨かれてきた証拠でしょう。

入学当初は、県外の学会会場で、自分自身が研究を発表する様子を想像さえしていなかった生徒でも、1年も経たないうちに、一人の研究者として専門の論文を読み、堂々と発表を行い、専門家と議論を交わしています。そういう姿をみると、高校生の可能性の広がり、さらなる成長への期待を感じずにはいられません。科学部の部員が、予測が困難で複雑な未来にふさわしい、輝きを持った研究者へと成長を遂げることを期待しています。

## 目 次

1	はじめにー科学部の探究活動の目的	1
2	科学部の活動方針	1
3	科学部の指導体制と教員の役割	2
4	科学部の探究の進め方	2
5	本年度の大きな成果	2
6	研究成果(専門学会と論文コンテスト等)	3
7	小中学生を対象にした活動	14
8	発展的な探究活動	15
9	国際的な活動	16
10	専門学会誌への論文掲載	18
11	校外研修	18
12	生徒アンケートの結果	22

## 研究論文とポスター

外部磁力の強度による磁性流体のスパイクの形状変化 (科学部物理系研究部 磁性流体班)	24
金平糖の成長に伴う「角」の消失の過程 (科学部物理系研究部 金平糖班)	31
サボテン(ブリンチュウ <i>Pachocereus pringlei</i> )の刺座の配列方程式 (科学部生物系研究部 サボテン班)	41
蠕虫型ニハイチュウが片利共生する軟体動物の腎囊における生育場所に対応する極帽形態の形成過程 (科学部生物系研究部 ニハイチュウ班)	59
兵庫県南部の揖保川花崗閃緑岩の角閃石にみられる微細構造 (科学部地学系研究部 マグマ班)	70
サボテンの刺座の配列は規則的なのか (科学部生物系研究部 サボテン班)	76
日本農芸化学会「化学と生物」誌 Vol. 61, No. 1, 46-48, 2023	
Disaster Prevention Education: Combining Scientific Understanding of Disasters with Knowledge of Disaster Mitigation Strategies (科学部 地球科学教育を考える班)	79
Journal of Modern Education Review (印刷中)	

## 1 はじめに

本校は令和2年度に文部科学省からスーパーサイエンスハイスクール（SSH）の指定を受け、本年度はその3年目であった。本校 SSH 事業の研究開発の4つの柱のうちのひとつに「科学部の国際的な活動への挑戦」を据えて活動を続けてきたが、本年度は大きな成果がいくつかあらわれた。すべての研究班が国内の専門学会で発表し、いずれも高い評価を得たほか、同じ生徒が分野の異なる複数の研究に取り組み、異なる専門学会で発表していずれも高い評価を得たり、女子生徒がグループを作って国際学会に主体的に参加して口頭発表したり、国際学会誌に研究論文を投稿して、査読を通過して掲載されるなど、大きな成果を得ることができた。

科学部が多くの成果を得たことによって、学校全体にも探究の雰囲気が満ちてきた。科学部の作成した論文やポスター等は、他の生徒に公開され、多くの生徒の課題研究の方法や進め方、論文のまとめ方、プレゼンテーションの方法などの旗印として、科学部が認知された。逆に科学部の生徒は、周囲の生徒や教員の期待を受けて、より高いレベルの活動に向かおうとするなど、高い相乗効果をもたらした。

## 2 科学部の活動方針

### (1) グループ研究を柱とする。

本来研究は個人で行うものである、という考えがある。かつては SSH の研修会でも、グループ研究では高度な課題研究ができないばかりか、役割分担が不明瞭になりがちで、探究の力の育成には不向きであるとされた時期もあった。しかし、知識も経験も乏しい高校生が研究活動を行うためには、担当教員が付ききりになって指導するか、複数の生徒がグループを構成して、グループ内で一定の役割を担い、互いに議論をしながら進めるしか方法はないのではないか。特にグループ研究では、考えをまとめる力、聞く力、議論する力、伝える力などが育成され、生徒自身の主体性も向上することから、本校科学部ではグループ研究を基本としている。教員は折に触れて助言するにとどめ、生徒の主体的な活動による発見を重視している。

### (2) 身近な自然現象をテーマとして扱う。

生徒自らが日常生活の中で疑問に感じたことをテーマにしないで、Google Scholar 等であがっている研究者の論文から「今後の課題」の部分を引きつけて、それに取り組もうとしてもうまくいかない。それは、専門研究者と高校生では研究の目的も手法も時間も全てが異なるからである。研究論文は、研究の過程で出現したさまざまな課題を克服し、あちこちに寄り道をしながら最終的にたどり着いた結論を、あたかも最初から道筋が分かっていたかのように一直線にわかりやすくまとめたものであるから、そこから引用しようとしてもうまくいかないのは当然である（このことは部員には丁寧に説明している）。つまりテーマの発見のためには、日ごろから周囲に興味を持って観察しておくというセレンディピティの姿勢が必要である。

### (3) 特別な分析機器を用いることなく、高校生らしい柔軟で新しい発想と工夫で研究をおこなう。

専門学会での発表を聞いていると、どのような仕組みの分析装置かは知らない、したがって測定値の精度や確度についてはわからない、ということがよくある。SSH では、大学や専門機関との連携が求められているが、分析のバックアップをするだけという安易な連携は、間違ったメッセージを高校生に与えてしまう。高度な分析装置は大学で活用するとして、高校生のうちは、特別な装置を用いずに、まずは身の回りにある装置で何とか目的を達成することはできないかを考えさせたい。このような思考力が、大学などの高いレベルでの分析につながるのではないかと。生徒は研究を行う中で、データの統計処理やグラフや図表を作成する情報処理の力、国語や英語によるプレゼンテーションや論文作成の力、科学倫理の理解など、総合的な力が必要であることを自覚する。

(4) 研究成果は学会や論文コンテストで評価を得る。

科学的な研究成果は、社会に公開して初めて意味を持つ。専門学会での発表等で、研究者と議論することによって成果の評価を得るほか、研究論文をまとめて発表する。専門学会やコンテストの全国レベルの高い成果は、生徒をさらに高い探究へと向かわせるだけではなく、探究力が身につけていることを客観的に保証するものであることから、生徒の進学にも生かされる。

(5) 研究成果を地域に還元する。

他の高等学校や地域の小・中学生、企業等を中心に、講座やHPなど様々な形で研究結果を公開することで、成果を還元する。特に「わくわく実験教室」のような小学校～高等学校の連携は、お互いの教育にとって効果的なようである。

### 3 科学部の指導体制と教員の役割

科学部は、物理、化学、生物、地学、数学、工学、農学等の各分野の純粋なテーマばかりでなく、それらの分野横断的あるいは統合的なテーマも扱う。むしろ近年は複数の分野にまたがるテーマを扱うことの方が一般的である。さらに、生徒は希望する複数のテーマについて同時に並行して研究を行うため、生徒も教員も広領域にまたがる知識や経験（科学的姿勢）が求められる。純粋な地学分野の研究であっても、たとえばマグマの性質に関する研究であれば、化学や物理、数学の力が必要である。

このように考えると、生徒がどのような希望を出してきても助言者となり得るためには、広領域の知識と経験よりもむしろ、科学的な思考力が必要とされる。どのような結果が得られるか分からない研究については、そもそも生徒に「教える」ことは不可能なので（それは探究ではない）、論理的な思考ができてきているか、ほかに可能性のある結論は見つからないのかどうか、といった科学的要素について助言を与えることが教員に求められる。本校科学部では、理科や数学等の多くの顧問による集団指導体制をとり、助言にあたる。生徒の新しい発想や工夫を引き出すような助言を与えることができるように、顧問教員も研修を怠らない。顧問教員は、生徒の求めに応じて大学や企業研究所に連絡を取り、生徒の研究をサポートする。そのためのネットワークの整備も重要な役割である。

### 4 科学部の探究の進め方

- (1) 9月～12月：学会発表等が集中している時期であるが、その合間を縫って、部員一人一人が、今後取り組みたいテーマ案を持ち寄る。この際には、先行研究論文なども読み、興味深さや研究の現状、高校生が取り組むテーマであるか、等について互いに議論し、テーマ案を絞り込む。
- (2) 1月～3月：テーマ案の中から部員各自の希望によってグループ分けを行い、詳細な研究目的と方法、計画を具体化させる。さらに予備実験や予備観察を通して、問題点を整理する。
- (3) 4月～8月：新入生の獲得活動とともに本格的な研究を開始するため、きわめて多忙な時期である。成果をまとめて論文を作成し、そこからプレゼンテーションに必要な、パワーポイント（口頭発表）、ポスター（ポスター発表）、発表原稿、質疑応答集等を作成する。
- (4) 9月～12月：学会に積極的に参加して、研究者との議論の中から、研究の問題点や補足すべき点などについて得た指摘に基づいて追加の研究を行い、最終論文にまとめて発表する。

### 5 本年度の大きな成果

生徒は校内での課題研究に留まらず、主体的に大阪大学のSEEDSや神戸大学のROOT、そのほか専門学会が主催する発展的な探究活動に積極的に挑戦し、いずれも合格して定期的校外での探究活動を行っている。それらの成果を用いてAO入試に合格して進学するなど、他の生徒が探究活動に向かうモチベーションの向上につながっている。サボテンとニハイチュウの研究を並行して行い、日本植物学会と日本動物学会という異なる専門学会で発表していずれも高い評価を得たり、自ら希望して国際学会で発表し、

その内容が世界に配信され、さらに査読付きの国際的な専門学会誌に掲載されるなどの成果を得た。コロナによって海外での活動が制約を受けたが、生徒の探究は国際的なレベルに達し始めている。→ pp. 16-18.

## 6 研究成果（専門学会と論文コンテスト等）

コロナ禍の中でも、上級生から下級生へと研究手法が引き継がれ、また ZOOM というツールを使いこなす力を身に付けたことから、大きな成果を上げた。

なお、類似の表題の研究発表や論文が複数あるが、研究を継続的におこなっているため、提出する大会ごとに内容は異なっている。また大会の趣旨に合わせて発表の重点を変えている。

### (1) 日本地球惑星科学連合 (JpGU) 高校生セッションで2研究とも努力賞を受賞（物理系研究部逆ムペンバ班、地学系研究部マグマ班）

- 主催 日本地球惑星科学連合
- 応募 令和4年4月7日(木) 申込締切  
令和4年4月14日(木) 予稿締切  
令和4年5月26日(木) iPoster 締切
- 日時 令和4年5月29日(日) 13:45~17:15  
オンライン開催
- テーマ
  - ・逆ムペンバ現象の発現条件の解明—大気中の水滴の凝結や氷晶の融解の新しい知見となる可能性—（物理系研究部逆ムペンバ班）
  - ・デイサイトの角閃石から熱水残液の影響を記録する微細構造を発見（地学系研究部マグマ班）
- 研究者
  - ・多田明良、中農拓人、菅原楓、志村実咲、山浦奈々（物理系研究部逆ムペンバ班）
  - ・中農拓人、多田明良（地学系研究部マグマ班）
- 結果 予備審査を通過した80件がiPosterを用いて発表を行い、日本地球惑星連合の理事によって審査された。



### (2) 8<sup>th</sup> Science Conference in Hyogo ポスター発表（生物系研究部シジミ班、地学系研究部マグマ班）

- 主催 兵庫「咲い」テク事業推進委員会
- 応募 令和4年6月24日(金) 申込締切
- 日時 令和4年7月18日(月・祝) 9:50~16:00
- 場所 神戸大学百年記念館六甲ホール（神戸市灘区六甲台町1-1）
- テーマ
  - ・Regional Variations in the Shell Patterns of *Corbicula Japonica*（生物系研究部シジミ班）
  - ・The Discovery of Oscillatory Zoning Showing the Circulation of Hydrothermal Fluid in Amphiboles of Dacite（地学系研究部マグマ班）
- 研究者
  - ・後藤大道、佐藤知希、竹内智哉、西野侑吏、横尾侑真（生物系研究部シジミ班）
  - ・高田健吾、山浦奈々（地学系研究部マグマ班）
- 結果 英語での発表にも慣れ、質疑応答も活発に行われた。発表総数は40件。

### (3) スーパーサイエンスハイスクール (SSH) 生徒研究発表会で発表しポスター発表賞を受賞

- 主催 文部科学省、(独) 科学技術振興機構

- 応募 令和4年6月2日(木) 申込および要旨締切  
 令和4年7月14日(木) ポスター電子ファイル提出締切
- 日時 令和4年8月3日(水) 8:30~8月4日(木) 16:00
- 場所 神戸国際展示場(神戸市中央区港島中町6-11-1)
- テーマ
  - ・逆ムペンバ現象はあるのか、それはどんな温度条件で見られるのか(物理系研究部逆ムペンバ班)
  - Conditions for producing an Inverse Mpemba Phenomenon
- 発表者
  - ・多田明良、中農拓人(3年次逆ムペンバ班)
- 結果 経験校を含む220件の発表があった。2年ぶりに現地開催となり、対面で議論することができた。専門の審査委員と白熱した議論がしばしば見られ、研究内容の高い専門性(テーマと検証方法)が評価されたが、数理モデルの作成などメカニズムの解明に至らなかったことから、残念ながら2次審査会に進出することはできなかった。

(4) 日本動物学会第93回大会で発表し高校生ポスター賞を受賞(生物系研究部ニハイチュウ班)

- 主催 日本動物学会
- 応募 令和4年6月21日(火) 申込および要旨締切
- 日時 令和4年9月10日(土) 12:00~14:15
- 場所 早稲田大学早稲田キャンパス(新宿区戸塚町1-104)
- テーマ
  - ・ニハイチュウの腎臓での生育場所に対応する頭部形態の形成過程(生物系研究部ニハイチュウ班)
- 研究者
  - ・岸上栞菜(生物系研究部ニハイチュウ班)
- 結果 51件の発表があった。審査の結果、着眼点の面白さから高校生ポスター賞を受賞した。



(5) 日本地質学会第129年学術大会(早稲田大会)第19回ジュニアセッションで奨励賞(全国3位)を受賞(地学系研究部マグマ班)

- 主催 日本地質学会
- 応募 令和4年8月1日(月) 申込および要旨締切  
 令和4年9月1日(木) e-poster 提出締切
- 日時 令和4年9月10日(土) 9:00~15:00 オンラインによる e-poster 発表
- テーマ
  - ・山陽帯の花崗閃緑岩の角閃石にみられる微細構造(地学系研究部マグマ班)
- 研究者
  - ・高田健吾、中農拓人、志村実咲、菅原楓、本脇敬人、山浦奈々、横尾侑真、陰山麻愉、田村花里奈、藤盛心実、前田隆良、松田理沙、溝垣月渚(地学系研究部マグマ班)
- 結果 日本地質学会の全理事によって、事前に提出した要旨と当日発表の審査がおこなわれ、発表17件中全国3位に相当する奨励賞を受賞した。



(6) 日本植物学会第86回大会で発表(生物系研究部サボテン班)

- 主催 日本植物学会
- 応募 令和4年7月25日(月) 申込締切  
 令和4年8月10日(水) 要旨締切  
 令和4年9月8日(木) e-poster 提出締切

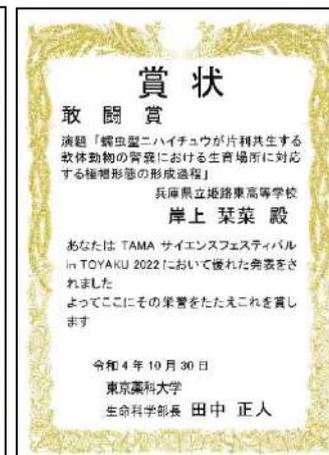
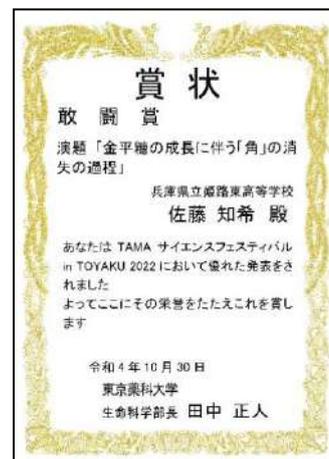
- 日時 令和4年9月17日(土) 13:30~16:00  
 場所 京都府立大学下鴨キャンパス(京都市左京区下鴨半木町1-5)  
 テーマ ・歪み指数の導入によるサボテン(プリンチュウ *Pachycereus pringlei*)の刺座の配列方程式の決定(生物系研究部サボテン班)  
 研究者 ・岸上葉菜、本脇敬人、吉田龍之介、藤田詩桜、村瀬太郎、大和司(生物系研究部サボテン班)  
 結果 56件の発表があり、生物を数数学的に見る視点の面白さが高く評価された。

(7) 第66回日本学生科学賞兵庫県コンクールに応募(物理系研究部磁性流体班、物理系研究部金平糖班)

- 主催 読売新聞社・兵庫県教育委員会・神戸市教育委員会・兵庫県中学校教育研究会理科部会  
 文部科学省認定大会  
 応募 令和4年10月6日(木) 申込および研究概要締切  
 令和4年10月13日(木) 審査委員会  
 場所 バンドー神戸青少年科学館(神戸市中央区港島中町7-7-6)  
 テーマ ・外部磁力の強度と磁性流体のスパイクの形状変化の関係(物理系研究部磁性流体班)  
 ・金平糖の成長に伴う「角」の消失の過程(物理系研究部金平糖班)  
 研究者 ・志村実咲、菅原楓、陰山麻愉、松田理沙、大和司(物理系研究部磁性流体班)  
 ・佐藤知希、後藤大道、竹内智哉、西野侑吏、横尾侑眞、田村花里奈、北條陸翔、溝垣月渚(物理系研究部金平糖班)  
 結果 論文およびポスターによって9名の審査委員によって審査された。残念ながら受賞には至らなかった。

(8) TAMAサイエンスフェスティバル in TOYAKU 2022で発表し、3研究とも敢闘賞を受賞(物理系研究部金平糖班、生物系研究部サボテン班、生物系研究部ニハイチュウ班)

- 主催 東京薬科大学  
 応募 令和4年9月15日(木) 申込および論文締切  
 令和4年10月14日(金) 発表動画投稿締切  
 日時 令和4年10月30日(日) 9:00~17:00 オンライン開催  
 テーマ ・金平糖の成長に伴う「角」の消失の過程(物理系研究部金平糖班)  
 ・歪み指数の導入によるサボテン(プリンチュウ *Pachycereus pringlei*)の刺座の配列方程式の決定(生物系研究部サボテン班)  
 ・蠕虫型ニハイチュウが片利共生する軟体動物の腎囊における生育場所に対応する極帽形態の形成過程(生物系研究部ニハイチュウ班)  
 研究者 ・佐藤知希、後藤大道、竹内智哉、西野侑吏、横尾侑眞、田村花里奈、藤盛心実、北條陸翔、溝垣月渚(物理系研究部金平糖班)  
 ・吉田龍之介、本脇敬人、藤田詩桜、



村瀬太郎、大和司（生物系研究部サボテン班）

・岸上栞菜（生物系研究部ニハイチュウ班）

結果 事前審査によって選ばれた57件が、発表要旨、発表動画、オンライン発表によって審査され、3研究とも敢闘賞を受賞した。

**(9) 第46回兵庫県高等学校総合文化祭自然科学部門発表会で口頭およびポスター発表し、最優秀賞(物理系研究部磁性流体班)を得て第47回全国大会(かごしま総文)への出場を決めたほか、優良賞(生物系研究部ニハイチュウ班と地学系研究部マグマ班)、ポスター発表優秀賞(生物系研究部ニハイチュウ班)を受賞**

主催 兵庫県高等学校文化連盟自然科学部会  
 応募 令和4年9月26日(月) 申込締切  
 令和4年10月5日(水) 論文締切  
 令和4年10月28日(金) 参加調査票提出締切  
 日時 令和4年11月5日(土) 口頭発表  
 令和4年11月6日(日) ポスター発表  
 場所 バンドー神戸青少年科学館(神戸市中央区港島中町7-7-6)

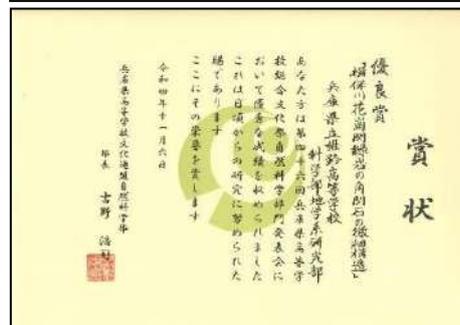
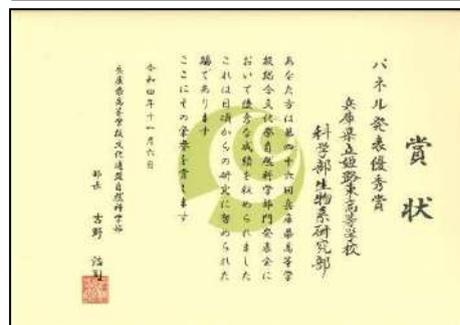
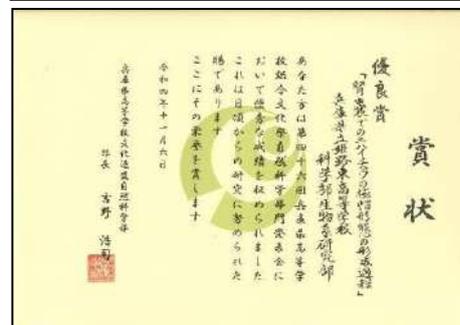
テーマ

- ・外部磁力の強度と磁性流体のスパイクの形状(物理系研究部磁性流体班)
- ・腎囊でのニハイチュウの極帽形態の形成過程(生物系研究部ニハイチュウ班)
- ・揖保川花崗閃緑岩の角閃石の微細構造(地学系研究部マグマ班)

研究者

- ・志村実咲、菅原楓、西野侑吏、村瀬太郎、陰山麻愉、大和司、松田理沙(物理系研究部磁性流体班)
- ・岸上栞菜(生物系研究部ニハイチュウ班)
- ・高田健吾、本脇敬人、藤盛心実、溝垣月渚、前田隆良、村尾倭生、田村花里奈(地学系研究部マグマ班)

結果 口頭発表23件(物理分野4件、化学分野6件、生物分野9件、地学分野4件)、ポスター発表51件。論文と当日の口頭発表、およびポスター発表審査の合計点で、磁性流体班が物理分野の最優秀賞を受賞し、来年度開催の全国総合文化祭への出場権を得た。第47回全国高等学校総合文化祭自然科学部門は、令和5年7月29日(土)~31日(月)に鹿児島大学で開催される予定。そのほかニハイチュウ班が優良賞とポスター発表優秀賞、マグマ班が優良賞を受賞した。



**(10) 数学に関する研究発表会で口頭発表(生物系研究部サボテン班)**

主催 兵庫「咲いテク」推進委員会(担当校:兵庫県立龍野高等学校)  
 応募 令和4年10月7日(金) 申込締切  
 日時 令和4年11月5日(土) 10:00~16:00  
 場所 兵庫県立龍野高等学校(たつの市龍野町日山554)

- テーマ ・サボテン (ブリンチュウ *Pachycereus pringlei*) の刺座の配列方程式の決定 (生物系研究部サボテン班)
- 発表者 ・吉田龍之介、藤田詩桜、村瀬太郎、大和司 (生物系研究部サボテン班)
- 結果 神戸大学理学研究科の渋川元樹助教による特別講演「課題研究における高校数学の学習法と研究法」のあと、各校による数学に関する課題研究、あるいは数学を用いた課題研究の発表を行った。最後には甲南大学知能情報学部長の高橋元教授と神戸大学の渋川元樹助教による助言を得て散会した。データサイエンスについて得ることの多い会となった。

(11) 第95回日本生化学会大会で口頭発表およびポスター発表し、銅賞(全国3位)を受賞(生物系研究部ニハイチュウ班)

- 主催 日本生化学会
- 応募 令和4年7月29日(金) 申込および要旨締切
- 日時 令和4年11月11日(金) 15:00~16:00 口頭発表  
令和4年11月11日(金) 16:15~17:30 ポスター発表
- 場所 名古屋国際会議場(名古屋市熱田区熱田西町1-1)
- テーマ ・歪み指数の導入によるサボテン (ブリンチュウ *Pachycereus pringlei*) の刺座の配列方程式の決定 (生物系研究部サボテン班)



- ・蟻虫型ニハイチュウが片利共生する軟体動物の腎囊における生育場所に対応する極帽形態の形成過程 (生物系研究部ニハイチュウ班)
- 研究者 ・吉田龍之介、岸上葉菜、竹内智哉、本脇敬人、藤田詩桜、村瀬太郎、大和司 (生物系研究部サボテン班)
- ・岸上葉菜 (生物系研究部ニハイチュウ班)
- 結果 16件の発表があった。プレゼンテーションを繰り返し、専門研究者との議論を重ねるにしたがって、研究内容の深化を実感することができた。また、今後の課題を具体的にどのように解決していくかについての指針を得ることもできた。

(12) 日本動物学会近畿支部高校生研究発表会で発表し優秀賞(全国2位)を受賞(生物系研究部ニハイチュウ班)

- 主催 日本動物学会近畿支部
- 応募 令和4年10月15日(土) 申込および要旨締切  
令和4年11月8日(火) 発表動画締切
- 日時 令和4年11月12日(土) 13:30~17:00 オンライン開催
- テーマ ・蟻虫型ニハイチュウが片利共生する軟体動物の腎囊における生育場所に対応する極帽形態の形成過程 (生物系研究部ニハイチュウ班)



- 研究者 ・岸上葉菜 (生物系研究部ニハイチュウ班)
- 結果 9件の発表があった。いずれも専門性の高い研究であったが、その中で全国第2位の優秀賞を受賞した。

(13) 第13回東京理科大学坊っちゃん科学賞に応募し、優秀賞(全国2位)1件(生物系研究部シジミ班)、優良入賞2件(物理系研究部逆ムペンバ班と生物系研究部サボテン班)、入賞1件(地学系研究部マグマ班)を受賞

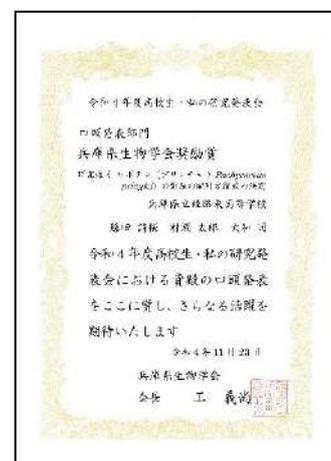
- 主催 東京理科大学

- 応募 令和4年7月31日(日) 申込締切  
令和4年8月31日(水) 論文締切
- 日時 令和4年11月13日(日) 13:00~16:00 オンライン開催
- テーマ
- ・「逆ムペンバ現象」の存在と温度条件を確認(物理系研究部逆ムペンバ班)
  - ・サボテンの刺座の配列の規則性を探る(生物系研究部サボテン班)
  - ・ヤマトシジミの殻模様の産地による種内変異(生物系研究部シジミ班)
  - ・デイサイトの角閃石から熱水残液の循環を記録する微細構造を発見(地学系研究部マグマ班)
- 研究者
- ・多田明良、中農拓人、菅原楓、志村実咲、山浦奈々(物理系研究部逆ムペンバ班)
  - ・前田智彦、岸上栞菜、本脇敬人、吉田龍之介(生物系研究部サボテン班)
  - ・三井彩夏、児玉尚子、室本勇也、後藤大道、佐藤知希、高田健吾、竹内智哉、西野侑吏、横尾侑真(生物系研究部シジミ班)
  - ・中農拓人、多田明良(地学系研究部マグマ班)
- 結果 224件の論文応募があった。中学校・高等学校教育関係者47名による分野別審査と、秋山仁特任副学長を審査委員長とする12名による東京理科大学教授審査が9月30日(金)に行われ、本校シジミ班の研究が最終審査会に出場する5校に選ばれた。ZOOMによるライブ発表審査によって、優秀賞(全国2位)を得た。そのほか優良賞(全国3位)2件、入賞(全国3位)1件など、応募したすべての論文が受賞を果たした。これらの研究論文をまとめた作品集が3月に出版される。



(14) 神戸大学高校生・私の科学研究発表会2022で発表し奨励賞(生物系研究部サボテン班)を受賞

- 主催 兵庫県生物学会、神戸大学サイエンスショップ
- 応募 令和4年10月20日(木) 申込および要旨締切
- 日時 令和4年11月23日(水・祝) オンライン開催
- テーマ
- ・外部磁力の強度による磁性流体のスパイクの形状変化(物理系研究部磁性流体班)
  - ・金平糖の成長に伴う「角」の消失の過程(物理系研究部金平糖班)
  - ・サボテン(プリンチュウ *Pachycereus pringlei*) の刺座の配列方程式の決定(生物系研究部サボテン班)
  - ・兵庫県南部の揖保川花崗閃緑岩の角閃石にみられる微細構造(地学系研究部マグマ班)
- 研究者
- ・陰山麻愉、松田理沙、大和司(物理系研究部磁性流体班)



- ・田村花里奈、北條陸翔、溝垣月渚（物理系研究部金平糖班）
- ・藤田詩桜、村瀬太郎、大和司（生物系研究部サボテン班）
- ・藤盛心実、溝垣月渚、村尾倭生、陰山麻愉、田村花里奈、前田隆良（地学系研究部マグマ班）

結 果 25 件の発表があった。本校からは1年次生徒のみによる口頭発表を行った。各自の自宅からの発表となり、すべてを自分一人で責任をもって行うことになったが、しっかりと発表～質疑応答ができ、目に見える成長があった。神戸大学の教員によって審査がおこなわれ、サボテン班が奨励賞を受賞した。

(15) 第 21 回神奈川大学全国高校生理科・科学論文大賞に応募し努力賞（全国 3 位）を受賞（生物系研究部サボテン班）

主 催 神奈川大学 文部科学省認定大会

応 募 令和 4 年 8 月 25 日（木）申込および論文締切

日 時 令和 4 年 12 月 1 日（木）審査委員会

テーマ ・外部磁力の強度による磁性流体のスパイクの形状変化（物理系研究部磁性流体班）

・金平糖の成長に伴う「角」の消失の過程（物理系研究部金平糖班）

・歪み指数の導入によるサボテン（プリンチュウ *Pachycereus pringlei*）の刺座の配列方程式（生物系研究部サボテン班）

・蠕虫型ニハイチュウが片利共生する軟体動物の腎囊における生育場所に対応する極帽形態の形成過程（生物系研究部ニハイチュウ班）

・兵庫県南部の揖保川花崗閃緑岩の角閃石にみられる微細構造（地学系研究部マグマ班）

研究者 ・志村実咲、多田明良、菅原楓、高田健吾、西野侑吏、山浦奈々、浦岡杜樹、陰山麻愉、松田理沙、村瀬太郎、大和司（物理系研究部磁性流体班）

・佐藤知希、児玉尚子、多田明良、三井彩夏、後藤大道、竹内智哉、西野侑吏、横尾侑真、田村花里奈、藤盛心実、北條陸翔、溝垣月渚（物理系研究部金平糖班）

・岸上栞菜、前田智彦、本脇敬人、吉田龍之介、藤田詩桜、村瀬太郎、大和司（生物系研究部サボテン班）

・岸上栞菜（生物系研究部ニハイチュウ班）

・高田健吾、中農拓人、志村実咲、菅原楓、本脇敬人、山浦奈々、陰山麻愉、田村花里奈、藤盛心実、前田隆良、松田理沙、溝垣月渚、村尾倭生（地学系研究部マグマ班）

結 果 応募総数 59 校 137 件の予備審査と本審査を経て、サボテン班の研究が全国 3 位の努力賞を受賞した。指導した川勝和哉主幹教諭には 15 年連続で指導教諭賞が贈られた。



(16) 第 45 回日本分子生物学会高校生発表会で口頭発表およびポスター発表（生物系研究部サボテン班、生物系研究部ニハイチュウ班）

主 催 日本分子生物学会

応 募 令和 4 年 10 月 4 日（月）申込および要旨締切

日 時 令和 4 年 12 月 2 日（金）13:45～15:45

場 所 幕張メッセ（千葉県千葉市美浜区中瀬 2-1）

テーマ ・歪み指数の導入によるサボテン（プリンチュウ *Pachycereus pringlei*）の刺座の配列方程式の決定（生物系研究部サボテン班）

・蠕虫型ニハイチュウが片利共生する軟体動物の腎囊における生育場所に対応する極帽形態

- の形成過程（生物系研究部ニハイチュウ班）
- 研究者 ・ 吉田龍之介、岸上栞菜、本脇敬人、藤田詩桜、村瀬太郎、大和司（生物系研究部サボテン班）
- ・ 岸上栞菜（生物系研究部ニハイチュウ班）
- 結果 短い発表時間の中で口頭発表とポスター発表を行ったため、積極的・効率的なプレゼンテーションの能力が向上した。昨年度のほぼ2倍となる、25件の口頭発表と45件のポスター発表があった。なお本大会にプレゼンテーションの審査はない。
- 発表翌日は、葛西臨海水族園（東京都江戸川区臨海町6-2-3）を訪問して、軟体動物に寄生する生物について講義を受け、ニハイチュウ研究の今後の指針を得ることができた。

(17) 第7回東京女子医大「はばたけ未来の吉岡彌生賞」に応募（物理系研究部磁性流体班、物理系研究部金平糖班、生物系研究部サボテン班、生物系研究部ニハイチュウ班、地学系研究部マグマ班）

- 主催 静岡県掛川市教育委員会、東京女子医科大学
- 応募 令和4年10月2日（日）申込および論文、要旨締切
- 日時 令和4年12月7日（木）審査委員会
- テーマ ・ 磁力強度と磁性流体のスパイク形状の変化（物理系研究部磁性流体班）
- ・ 金平糖の成長に伴い角が消失する過程の解明（物理系研究部金平糖班）
- ・ ブリンチュウの刺座の配列方程式を求める（生物系研究部サボテン班）
- ・ 蠕虫型ニハイチュウの極帽形態の形成過程（生物系研究部ニハイチュウ班）
- ・ 花崗閃緑岩の角閃石から波状累帯構造を発見（地学系研究部マグマ班）
- 研究者 ・ 志村実咲、菅原楓、高田健吾、西野侑吏、山浦奈々、浦岡杜樹、陰山麻愉、松田理沙、村瀬太郎、大和司（物理系研究部磁性流体班）
- ・ 佐藤知希、後藤大道、竹内智哉、西野侑吏、横尾侑眞、田村花里奈、藤盛心実、北條陸翔、溝垣月渚（物理系研究部金平糖班）
- ・ 岸上栞菜、本脇敬人、吉田龍之介、藤田詩桜、村瀬太郎、大和司（生物系研究部サボテン班）
- ・ 岸上栞菜（生物系研究部ニハイチュウ班）
- ・ 高田健吾、志村実咲、菅原楓、本脇敬人、山浦奈々、陰山麻愉、田村花里奈、藤盛心実、前田隆良、松田理沙、溝垣月渚、村尾倭生（地学系研究部マグマ班）
- 結果 応募総数は不明。医療系のテーマ研究を主とするコンテストであることもあり、受賞はならなかった。



(18) 第20回高校生科学技術チャレンジ2022 (JSEC) に応募し入選（生物系研究部サボテン班）

- 主催 朝日新聞社、テレビ朝日 文部科学省認定大会
- 応募 令和4年10月4日（火）申込および論文締切
- 日時 令和4年11月7日（月）1次審査
- 令和4年12月11日（日）2次審査
- テーマ ・ ブリンチュウ (*Pachycereus pringlei*) の刺座の配列は方程式で表すことができるのか（生物系研究部サボテン班）
- ・ 蠕虫型ニハイチュウが片利共生する軟体動物の腎囊における生育場所に対応する極帽形態の形成過程



(生物系研究部ニハイチュウ班)

- 研究者
  - ・兵庫県南部の山陽帯揖保川花崗閃緑岩の角閃石にみられる波状累帯構造の意味(地学系研究部マグマ班)
  - ・吉田龍之介、村瀬太郎、藤田詩桜(生物系研究部サボテン班)
  - ・岸上葉菜(生物系研究部ニハイチュウ班)
  - ・高田健吾、藤盛心実、村尾倭生(地学系研究部マグマ班)(JSECは各研究3名以内しか認めていない)



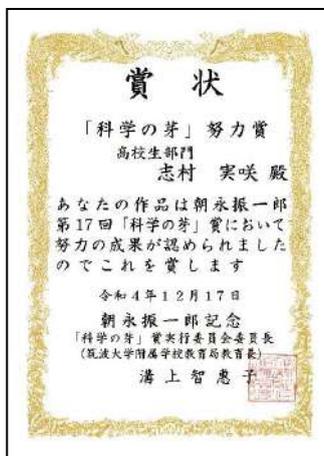
結果 過去最多の 339 件の応募論文に対する予備審査(審査委員 13 名)によって、本校を含む 100 研究が 1 次審査に進出した。入選以上となる 1 次審査(審査委員 22 名)では、残念ながら最終審査の 30 研究には選ばれなかったが、評価が高く入選となった。

(19) 第 17 回筑波大学「科学の芽」賞に応募し、奨励賞(全国 2 位/物理系研究部金平糖班)と努力賞(全国 3 位/物理系研究部磁性流体班、生物系研究部サボテン班)を受賞

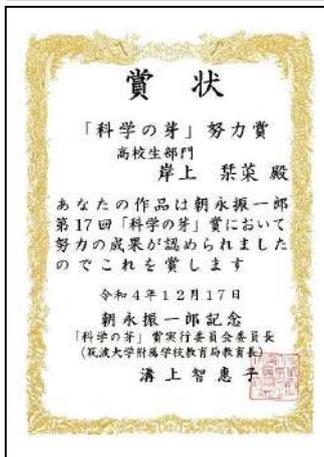
- 主催 筑波大学「科学の芽」賞実行委員会 文部科学省認定大会
- 応募 令和 4 年 9 月 17 日(土) 申込および論文締切
- 日時 令和 4 年 12 月 17 日(土) 筑波大学
- テーマ
  - ・外部磁力の強度を変えると磁性流体のスパイク底面の形状はどう変化するのか(物理系研究部磁性流体班)
  - ・金平糖が成長するにつれてどのように「角」が消失していくのか(物理系研究部金平糖班)
  - ・歪み指数を導入してサボテン(ブリンチュウ)の刺座の配列方程式を求める(生物系研究部サボテン班)
  - ・蠕虫型ニハイチュウが片利共生する軟体動物の腎囊表面形態に対応する極帽形態の形成過程(生物系研究部ニハイチュウ班)
  - ・兵庫県南部の揖保川花崗閃緑岩の角閃石から発見した波状累帯構造の意味(地学系研究部マグマ班)



- 研究者
  - ・志村実咲、多田明良、菅原楓、高田健吾、西野侑吏、山浦奈々、浦岡杜樹、陰山麻愉、松田理沙、村瀬太郎、大和司(物理系研究部磁性流体班)
  - ・佐藤知希、児玉尚子、多田明良、三井彩夏、後藤大道、竹内智哉、西野侑吏、横尾侑真、田村花里奈、藤盛心実、北條陸翔、溝垣月渚(物理系研究部金平糖班)
  - ・岸上葉菜、前田智彦、本脇敬人、吉田龍之介、藤田詩桜、村瀬太郎、大和司(生物系研究部サボテン班)
  - ・岸上葉菜(生物系研究部ニハイチュウ班)
  - ・高田健吾、中農拓人、志村実咲、菅原楓、本脇敬人、山浦奈々、陰山麻愉、田村花里奈、藤盛心実、前田隆良、松田理沙、溝垣月渚、村尾倭生(地学系研究部マグマ班)



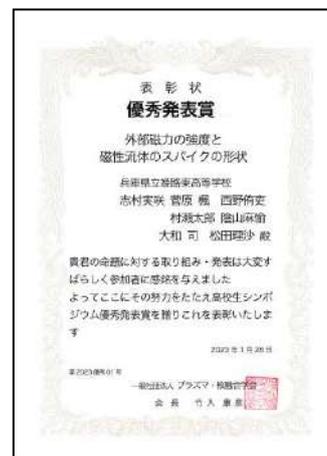
結果 275 件の応募のうち、全国 2 位にあたる奨励賞(5 件)を物理系研究部金平糖班が、3 位にあたる努力賞(27 件)を物理系研究部磁性流体班と生物系研究部サボテン班が受賞した。昨



年度よりの連続受賞となった。

(20) プラズマ・核融合学会第20回高校生シンポジウムで優秀発表賞（全国2位）を受賞（物理系研究部磁性流体班）

- 主催 プラズマ・核融合学会  
 応募 令和4年12月2日（金）申込および要旨締切  
 日時 令和5年1月28日（土）13:00～17:20  
 13:05～14:05 口頭発表  
 15:00～15:55 ポスター発表（対面およびZOOM発表）  
 場所 大阪公立大学杉本キャンパス（大阪府大阪市住吉区杉本3-3-138）  
 テーマ ・外部磁力の強度と磁性流体のスパイクの形状（物理系研究部磁性流体班）  
 研究者 ・志村実咲、菅原楓、西野侑吏、村瀬太郎、陰山麻愉、大和司、松田理沙（物理系研究部磁性流体班）  
 結果 大学と連携して行っている研究発表が多い中で、本校の発表は内容が高度で完成されていると評価され、さらに口頭発表もポスター発表も高い評価を受けた。事前審査を通過した9件の発表中2位となった。



(21) 第172回日本金属学会2023年春期講演大会 高校生・高専生ポスター発表に採択されポスター発表予定（物理系研究部磁性流体班）

- 主催 日本金属学会  
 応募 令和5年1月13日（金）申込締切  
 日時 令和5年3月7日（火）14:30～18:00  
 場所 東京都立産業貿易センター（東京都台東区花川戸2-6-5）  
 テーマ ・外部磁力の強度によって磁性流体のスパイクの形状はどのように変化するのか（物理系研究部磁性流体班）  
 発表者 ・志村実咲、菅原楓、陰山麻愉、松田理沙（物理系研究部磁性流体班）  
 結果 41件の申し込みがあった。現地での発表が5件、3月15日のZOOMによる発表が36件で、これらをあわせて審査が行われる。本校は現地での専門家との柔軟な議論を大切に考え、現地発表を選択した。

(22) 日本農芸化学会2023年度大会ジュニア農芸化学会で本発表研究に採択され発表予定（生物系研究部サボテン班、生物系研究部ニハイチュウ班）

- 主催 日本農芸化学会  
 応募 令和4年12月2日（金）申込締切  
 令和4年12月16日（金）要旨締切  
 令和5年3月8日（水）プレゼンテーション動画提出締切  
 日時 令和5年3月14日（火）9:45～15:00 オンライン開催  
 テーマ ・歪みを修正してサボテン（プリンチュウ *Pachycereus pringlei*）の刺座の配列方程式を決定する（生物系研究部サボテン班）  
 ・蠕虫型ニハイチュウが片利共生する軟体動物の腎囊における生育場所に対応する極帽形態の形成過程（生物系研究部ニハイチュウ班）  
 研究者 ・吉田龍之介、岸上葉菜、本脇敬人、藤田詩桜、村瀬太郎、大和司（生物系研究部サボテン

班)

- ・岸上栞菜 (生物系研究部ニハイチュウ班)

結果 66件の研究が発表研究として採択された。昨年度の発表が本学会の専門誌「化学と生物」に掲載されたことから、今年度も大きな期待をもって大会に参加する。

(23) 第19回日本物理学会 Jr. セッション (2023) で本発表研究に採択され発表予定 (物理系研究部磁性流体班)

主催 日本物理学会、高等学校文化連盟全国自然科学専門部

応募 令和4年12月13日 (火) 申込および要旨、論文、研究倫理受講確認書締切

日時 令和5年3月18日 (土) 8:55~12:30 オンライン開催予定

テーマ ・外部磁力の強度による磁性流体のスパイクの形状変化 (物理系研究部磁性流体班)

研究者 ・志村実咲、菅原楓、陰山麻愉、松田理沙 (物理系研究部磁性流体班)

結果 昨年度より10件多い112件の応募があり、物理学の各専門領域の代表・副代表、理事、Jr. セッション委員会委員、男女共同参画推進委員会委員、物理教育委員会委員、大学の物理教育編集委員会委員、前回審査員等による第1次審査がおこなわれた。その後、Jr. セッション委員会委員による第2次審査の結果、本校科学部の研究が本発表研究に採択された。3月18日にZOOMによる発表を行う。

(24) 京都大学ポスターセッション2022に採択されポスター発表予定 (生物系研究部サボテン班)

主催 京都大学

応募 令和4年10月14日 (金) 兵庫県教育委員会高校教育課に兵庫県代表校選考書類提出締切

令和4年11月30日 (水) 代表校決定

令和4年12月16日 (金) ポスターテーマ提出締切

令和5年1月31日 (火) 要旨提出締切

日時 令和5年3月18日 (土) 12:00~16:30

場所 京都大学 (京都市左京区吉田本町)

テーマ ・プリンチュウ (*Pachycereus pringlei*) 種を示す刺座の配列方程式の決定 (生物系研究部サボテン班)

発表者 ・岸上栞菜、藤田詩桜、村瀬太郎、大和司 (生物系研究部サボテン班)

結果 兵庫県内のSSH指定校の発表を希望する学校が提出した要旨による審査で、本校科学部の研究が2年連続で発表研究に選出された。選抜された滋賀県、京都府、和歌山県、奈良県、三重県、徳島県、大阪府、兵庫県、東京都、石川県、福井県が発表を行い、成果を競う。

(25) 第70回日本生態学会 (2023年) 高校生ポスター発表会で本発表研究に採択され発表予定 (生物系研究部サボテン班、ニハイチュウ班)

主催 日本生態学会

応募 令和4年10月31日 (月) 申込締切

令和5年2月20日 (月) 要旨締切

令和5年3月6日 (月) プレゼンテーション動画提出締切

日時 令和5年3月19日 (日) 11:30~13:30 コアタイム オンライン開催

テーマ ・プリンチュウ (*Pachycereus pringlei*) の刺座の配列方程式の決定 (生物系研究部サボテン班)

- ・ニハイチュウが片利共生する軟体動物の腎囊における生育場所に対応する極帽形態の形成 (生物系研究部ニハイチュウ班)

- 研究者 ・吉田龍之介、岸上栞菜、本脇敬人、藤田詩桜、村瀬太郎、大和司（生物系研究部サボテン班）  
・岸上栞菜（生物系研究部ニハイチュウ班）
- 結果 事前に提出した要旨による審査を経て、本発表で発表できることになった。

## 7 小中学生を対象にした活動

### (1) わくわく実験教室を開催

目的 近隣小学校の児童を本校に招き、身近な科学の面白さを体験してもらうことによって、自然科学に関する興味・関心を高める。本校生徒のプレゼンテーション能力の向上を図る。

主催 兵庫県立姫路東高等学校科学部、生活創造部

募集 令和4年7月12日（火）申込締切

近隣の小学4・5・6年生を対象に募集する。

日時 令和4年7月25日（月）9:00～12:00

場所 兵庫県立姫路東高等学校 生物教室・調理室

テーマ 虹の結晶を作ろう！（ビスマス結晶の成長の観察／地学系研究部）

ピザを焼こう（発酵の様子を観察／生活創造部）

参加者 兵庫県立姫路東高等学校科学部、生活創造部の生徒及び教員

内容 科学部が研究しているオリジナルなテーマの内容について、科学部の生徒がわかりやすくした実験・観察を行い、発見や解明の楽しさを追体験してもらう。近隣小学生11名（2年生1名、5年生6名、6年生4名）が参加し、保護者や小学校教員とともに実験や観察を行った。

成果 ・小学生アンケート結果（回答者数11名）

面白かった（11名） わかりやすかった（11名） 理解できた（10名）

科学に対して興味関心が深まった（10名）

・小学生の感想より

- ・また来たいと思った。楽しかった。 ・結晶についてよくわかった。
- ・科学をもっと知りたいと思った。 ・わかりやすくて、またやりたくなった。
- ・ぼくはあまり実験などが好きではないのですが、今日の実験はわかりやすく、楽しくすることができた。今日のことを思い出にしてこれからの理科をがんばりたいです。

・保護者・小学校教員アンケート結果（回答者数13名）

面白かった（13名） わかりやすかった（13名） 理解できた（13名）

科学に対して興味関心が深まった（13名）

・保護者・小学校教員の感想より

- ・家ではできない体験ができて楽しく参加できた。
- ・普段触れることのない貴重なものを準備いただき、とても良い経験ができた。
- ・自分の子どもの様子がよくわかってよかった。生徒が上手に子どもの興味を引き付けてくれたので楽しめた。おみやげもあってとても良かった。
- ・説明がわかりやすく、子どもに考えさせてもらうことで興味がわき、実験前後も含めてとても充実していた。



- ・付き添いできただけのつもりが、親の方がワクワクした。またこのような機会があれば参加したい。
- ・知らなかったことやびっくりすること、感心することがたくさんで、家に帰ってさらにいろいろ親子で調べてみようと思う。
- ・本校生徒の成果  
科学では、自分たちの研究成果を他者に広く普及することが必要であることをよく理解している生徒たちにとっても、対象が小学生となると、専門研究者に対するよりもハードルは高くなる。工夫を凝らした再現実験や観察を通して、プレゼンテーション能力は大きく向上し、目的を果たすことができた。

## 8 発展的な探究活動

### (1) 大阪大学の教育研究力を活かした SEEDS プログラム (傑出した科学技術人材発見と早期育成) に挑戦し、科学部員1年次生2名が合格

- 主催 大阪大学  
応募 令和4年5月31日(火) 応募、研究計画書の提出締切  
日時 2022年6月12日(日) 13:30~17:00 に選考試験  
場所 大阪大学(豊中市待兼山町1-1)  
応募者 体感コースSに2名が挑戦  
結果 体感コースSは、現在高等学校の部活動で行っている研究をさらに深化させるために大阪大学の教員および施設を活用するもので、事前に研究計画書を提出して面接審査を受け、採択の可否が決定する。2名(村瀬太郎、藤田詩桜)が挑戦したグループ研究が高く評価されて採択され、定期的に大阪大学を訪問して研究活動を行っている。  
なお、昨年度合格した現在2年次生徒の4名のうち1名は、本年度も継続して研究活動を行っており、国際学会での発表や専門学会誌への論文掲載など活躍の幅を広げている。

### (2) JST グローバルサイエンスキャンパス企画「“越える”力を育む国際的科学技術人材育成プログラム(ROOTプログラム)」に1名が合格

- 主催 GSC ひょうご神戸コンソーシアム(神戸大学・兵庫県立大学・関西学院大学・甲南大学・理化学研究所・県立人と自然の博物館・高輝度光科学研究センター・兵庫工業会・関西各教育委員会等)  
応募 令和4年6月27日(月) 申込および書類締切  
日時 令和4年7月9日(土)、7月10日(日)、7月17日(日) 面接審査(オンライン審査)  
場所 神戸大学をはじめとする兵庫県内の国公立大学  
参加者 1年次生徒1名が挑戦  
結果 1年次生徒1名(陰山麻愉)が合格し、神戸大学で対面の研究を実施した。なお、昨年度合格した現在2年次生の2名は、本年度も継続して研究活動を行った。

### (3) 京都大学理学探究活動推進事業 COCIOUS-R2023 に3名が合格

- 主催 京都大学理学部  
応募 令和5年2月3日(金) 申込および書類締切  
日時 令和5年2月17日(金) 審査会  
場所 京都大学理学部  
参加者 1年次生徒3名が挑戦

**結 果** 女子生徒1～3名に京都大学理学部理学研究科の大学生と大学院生がチームとなって、生徒の研究を支援する事業で、応募は各校女子生徒3名までの1グループに限られている。令和5年2月～令和6年3月までの14か月にわたって、月2回隔週のオンライン会議を重ね、令和5年の夏休み期間には京都大学理学部で発表会を開催する。1年次生徒3名（陰山麻愉、藤田詩桜、松田理沙）が、マグマ分化と熱水が鉱物に与える影響についてのテーマで挑戦し、採択された21件に入り合格した。

**(4) 第15回日本地学オリンピック（第17回国際地学オリンピック日本代表選抜）に22名が挑戦**

**主 催** NPO 法人地学オリンピック日本委員会  
**応 募** 令和4年11月15日（火）申込締切  
**日 時** 令和4年12月18日（日）14:00～15:00（オンライン開催）  
**場 所** 生徒各自の自宅で受験  
**受験者** 2年次生12名、1年次生10名  
**結 果** 国際大会予選として実施される科学オリンピックの一種。この成績は多くの国立大学のA0入試や推薦入試に用いることができる。マークシート方式の筆記試験で、原則として高等学校地学基礎の教科書の内容から出題されるが、思考的な発展問題も含まれる。

## 9 国際的な活動

**(1) The 9<sup>th</sup> International Conference on Geoscience Education (IX GeoSciEd 2022)で研究発表**

**目 的** 国際会議で講演を行い、本校の地球科学をベースにした自然科学教育を、実際に学習している生徒が防災教育のシンポジウムで世界に紹介することを通じて、世界の研究者と議論し、生徒の視点で事業の意味を問うとともに、プレゼンテーション能力の向上を図る。

**日 時** 令和4年8月24日（火）9:00～12:00  
**場 所** 島根県コンベンションセンター「くにびきメッセ」（島根県松江市学園南1-2-1）

**テーマ** Learning about Disaster Prevention in High School—Scientific Understanding of Natural Disasters and Acquisition of Knowledge of Disaster Prevention Behavior—

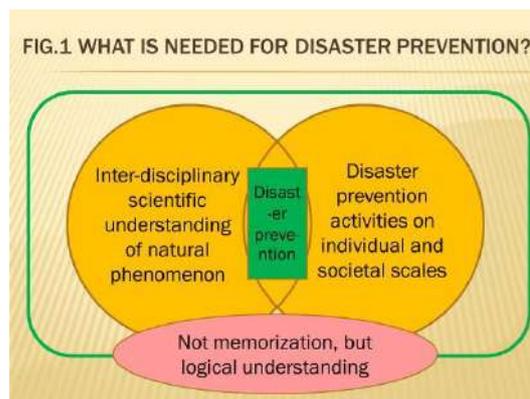
**発表者** 岸上栞菜、志村実咲、菅原楓（科学部2年次生徒）  
**内 容** コロナ禍のために海外での国際的な活動が制限される中で、4年に一度開催される国際学会が、本年度は島根県松江市で開催されるということを知った。兵庫県立大学大学院の川村教一教授が世話人となっているシンポジウム「Symposium on Disaster Prevention」があり、そのシンポジウムの口頭発表に申し込み受理された。要旨の作成やパワーポイント画面の作成、発表原稿の作成を含めて、ほぼ半年をかけて準備を行った。前日に行



## Learning about disaster prevention in high school -Scientific understanding of natural disasters and acquisition of knowledge of disaster prevention behavior

K. Kawakatsu\* ; A. Mitsui; N. Kodama; T. Maeda; H. Nakanou; A. Tada; Y. Muromoto;  
K. Kishigami; H. Gotou; K. Motowaki; Y. Nishino; T. Satou; M. Shimura;  
K. Sugawara; K. Takada ; T. Takeuchi; Y. Takeuchi; N. Yamaura; Y. Yokoo; R. Yoshida  
Honmachi 68-70, Himeji-city, Hyogo Prefecture, Japan  
kazuya-kawakatsu@hyogo-c.ed.jp

Our school is located near the epicenter of the Southern Hyogo Earthquake that occurred on January 17, 1995. As the years pass by, lessons learned have started to be forgotten. The main lesson we learned from the disaster is that it is necessary to understand the natural world scientifically and to practice disaster prevention activities as an individual and societal scales to protect ourselves from disasters (Fig.1).



Japan has many natural disasters (such as earthquakes, volcanic eruptions, tsunamis and typhoons) and students are taught how to prepare for and respond to them. Aside from those practical considerations, students learn about the underpinning scientific theories of such disasters in earth science classes. However, students don't study the four natural science (chemistry, physics, biology and earth science), but only choose to study 2 or 3 subjects from them. Therefore, students who don't choose earth science have no opportunities at school to learn the mechanisms behind disasters. In modern Japan, very few schools offer earth science courses so many students are denied the opportunity to understand the theory of natural disasters.

Our school has been designated as a Super Science High school (SSH) since April 2020. The SSH program designates high schools that focus intensively on math, science and technology education. It implements advanced math and science education programs in high schools and assigns additional funding to further develop the abilities of students. In addition, it also develops teaching methods and materials which develop students' creativity and originality.

The most important research and development theme of our school is "International Activities centered on Earth Science". Our school has set up "Basic Inquiry-Based Study of Natural Science" (worth 4 credits in 1<sup>st</sup> grade and 2 credits in 2<sup>nd</sup> grade) to encourage comprehensive across the four fields of science (chemistry, physics, biology, and earth science) with a focus on earth science. Here is also "Inquiry-Based Study of Science and Mathematics" (1 credit in 1<sup>st</sup> grade, 2 credits in 2<sup>nd</sup> grade and 1 credit in 3<sup>rd</sup> grade) research based on earth science. In this system, all students study across the four fields of natural science as well as mathematics and so they can come to understand natural phenomena and natural disasters comprehensively. In "Basic Inquiry-Based Study of Natural Science", students actually go out and get hands-on experience earth sciences. In 2021, a group of students investigated the Nojima Fault which was responsible for the Southern Hyogo Earthquake and visit the Disaster Prevention Future Center. We learned about disaster prevention and mitigation techniques there. We conducted a survey on students who participated about these activities. The results shows that our school's efforts is significant [1]. We would like to show the country the fruits of our labour nationwide.

**Keywords:** Southern Hyogo Earthquake; mechanisms; activities

**References:** [1] Himejihigashi Senior High School (2020) R & D implementation Report

われた高校生のためのポスター発表とは異なり、専門研究者の発表の中で高校生が自然災害教育について講演するのは初めてのことで、発表内容も含めて大きな話題となった。発表はライブで国際配信された。

## (2) 国際学会誌 Journal of Modern Education Review に論文が掲載

国際学会 The 9th International Conference on Geoscience Education での発表直後に、Journal of Modern Education Review 誌の編集者から連絡があった。国際学会での発表を聞き、内容が大変興味深いため論文にまとめて投稿することを勧めるものであった。そこで、発表内容をさらに充実させて論文にまとめ、同年12月に投稿した。査読を通過し、掲載されることが決まった。高校生の本国際専門誌への投稿は前例がない。

論題: Disaster Prevention Education: Combining Scientific Understanding of Disasters with Knowledge of Disaster Mitigation Strategies

著者: Kazuya KAWAKATSU, Kanna KISHIGAMI, Misaki SHIMURA, Kaede SUGAWARA,

掲載誌: Journal of Modern Education Review (印刷中)



## 10 専門学会誌に論文掲載

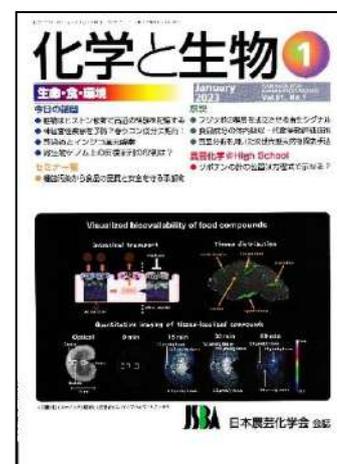
### (1) 日本農芸化学会誌「化学と生物」に研究論文が掲載

日本農芸化学会 2022 年度京都大会での研究発表「サボテンの刺座の配列に規則性はあるのか」が高い評価を受け、研究論文を投稿することになった。2度の査読を経て、2023年1月に受理、掲載された。

論題: サボテンの刺座の配列は規則的なのか

著者: 岸上菜菜、前田智彦、本脇敬人、吉田龍之介、藤田詩桜、村瀬太郎、大和司 (科学部生物系研究部サボテン班)

掲載誌: 「化学と生物」第61巻, 第1号, 710号, 46-48.



## 11 校外研修

当初予定していたオーストラリア・ニューサウスウェールズ州での野外調査（露頭調査と岩石採取）は、コロナ禍とそれに関連してシドニー大学の受け入れ態勢が整わなかったことから、断念せざるを得なかった。本来であれば、国内の深成岩とオーストラリア SW 州の深成岩でその微細構造を比較し、マグマ分化のメカニズムを解明する計画であった。来年度は野外調査を実施し、研究を進めたい。

経験の浅い生徒にとって、現地を訪れて本物に触れることは、自然科学観を育成するために重要である。コロナ禍の状況下ではあるが、国内の校外研修の実施を模索し、開催することができた。

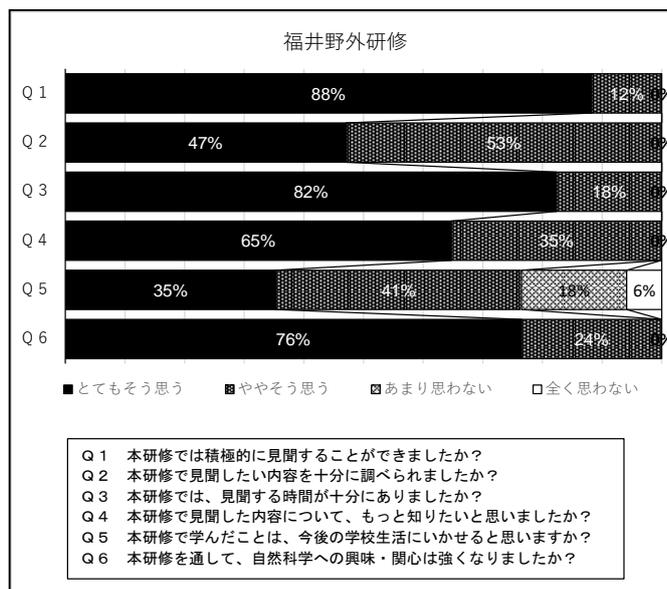
### (1) 福井野外研修を実施

目的 世界3大恐竜博物館とされる福井県立恐竜博物館を訪問し、研究員から講義を受けたり発掘体験をしたりするほか、付近の露頭の観察を行う。これらによって、地球科学に関する興味と関心を深化させる。

日時 令和4年8月16日(火) 13:30~8月18日(木) 19:00  
 場所 福井県立恐竜博物館(8月17日(水)) / 福井県勝山市村岡町寺尾 51-11)  
 野外恐竜博物館(8月17日(水)) / 福井県勝山市北谷町杉山)  
 白山恐竜パーク白峰(8月18日(木)) / 石川県白山市桑島 4-99-1)  
 桑島化石壁(8月18日(木)) / 石川県白山市桑島手取川沿い)  
 参加者 科学部1、2年次生徒希望者25名(1年次11名、2年次13名)  
 引率 川勝和哉、岡崎由紀  
 内容 科学部のほとんどの生徒が本研修に参加した。恐竜博物館では、館内見学のほかに、福井県立大学恐竜学研究所の柴田正輝准教授による1時間を超える講義と、活発な質疑応答を行った。また白山恐竜パーク白峰では、館内見学に加えて手取層群の化石採取も行った。天然記念物である桑島化石壁には、直前の水害の影響で直接手で触れることはできなかったが、対岸から地層の全体像について見学した。水害の影響はすさまじく、帰路の列車(サンダーバード号)が運休するなどしたが、何とか成果を持ち帰ることができた。事前学習会を行ったほか、報告書の提出を求め、校内で広く公開した。

- 感想
- 初めて勉強目的で旅行に行きましたが、観光目的と違い様々なものに興味を持つことができ、とても有意義な時間を過ごせた実感があります。博物館で研究者の方に詳しく説明をうけてみて、自分の理解が浅いことも実感しました。改めて、物事に疑問を持つことの大切さを感じられました。
  - これまで、自分からあまり興味のないものを進んで見に行こうとはしませんでした。しかし、興味のないものでも知ると興味が出てくるとも思うので、自分から積極的に様々な分野も調べていきたいです。
  - 専門の方のお話を聞くと、展示されているものの見方が変わり、学ぶことを楽しむことができた。化石も地層も、やはり実物には迫力があつた。貴重な展示を見たり、本物の地層が生で見られる桑島化石壁では実物を見学することでしか得られないものがあった。
  - 化石だけでなく、化石が埋まっている場所や埋まり方などから何がわかるかについて知ることができた。また恐竜の時代から今の生物に受け継がれている身体的特徴などもあって、すごく面白かつた。
  - 面白い展示が沢山あり、ずっと見ていられた。学びの楽しさを感じた。
  - 実際にものを見て、触れる、という座学ではできないことができて良かった。

検証 このような研修がなければ、おそらく訪れることはなかったであろうと思われた。古生物についての知識がほとんどない状態での研修となったため、事前学習に熱が入った。一方で、本校の科学部はマグマや岩石鉱物に関する研究を主としているためか、この経験が役に立つかという質問に対する回答は高くはない。今後は古生物学の分野にも活動の幅を広げていきたい。研修の内容は全校生徒に報告して共有した。





## (2) 東京博物館研修を実施

**目的** 日本を代表する2つの博物館を訪問し、研究員から講義を受けたり研究員と議論したりすることによって、自然科学への興味・関心を深化させ、研究のレベルを上げる一助とする。

**日時** 令和4年9月30日(金) 15:30～10月2日(日) 19:00

**場所** 国立科学博物館(10月1日(土)／東京都台東区上野公園7-20)

日本科学未来館(10月2日(日)／東京都江東区青梅2-3-6)

**参加者** 1、2年次生徒希望者25名(1年次16名、2年次9名／科学部員以外も参加可能)

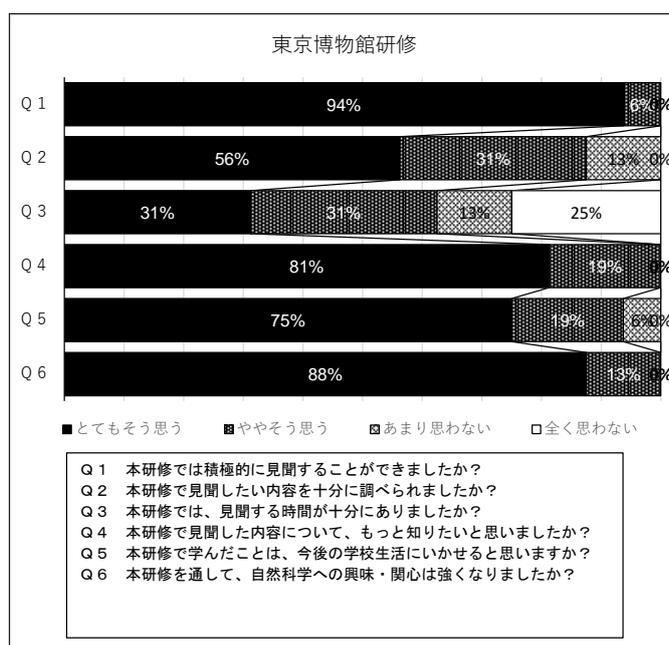
**引率** 川勝和哉、徳永里恵子

**内容** 国立科学博物館では特別展を観覧した後、自然科学の理学的側面が充実した常設展の見学をし、さらに研究員と議論した。一方、日本科学未来館では、主に工学や農学などの科学と社会との関係や、科学倫理的側面の展示を見学した。参加したすべての生徒が「時間が足りない」というほど充実した研修となり、ここでの経験をもとにして論文を深化させることができた。実施1週間前から事前研修を行い、成果は生徒研究後期発表会で校内の生徒に発表し共有した。

**感想**

- ・時間が足りなくて全ての展示を見ることが出来なかったことが残念でした。しかし、見ることが出来たものだけでも、知らなかったことや知ってはいるけどよく知らなかったことが沢山あってとても楽しかったです。今回はあまり知識がなかったこともあったので、また知識を蓄えた上で行きたいと思いました。
- ・東京では生活をしている中でさまざまな世界の先進的な情報や、教科書にあるような実物に触れることができることを肌で感じて、うらやましく思った。自分たちは、意識して情報を得ようと行動しなければならないと思った。

**検証** 目的の異なる2つの大きな博物館での研修は、理学的な内容を主とする国立科学博物館で特に生徒の強い興味・関心をひくことになっ



た。時間が不足していたと答える生徒が62%に達することからも、充実した研修であったことがわかるが、一方で時間を有効に活用する工夫を考える必要がある。



## 11 生徒アンケートの結果

(2月19日アンケート実施/対象生徒：3年次生6名、2年次生12名、1年次生9名が回答)

問1. 研究を始める前は、研究についてどのように思っていましたか？(1年次生は入学時、2・3年次は年度当初)

期待していた	よくわからないので不安だった	興味がなかった
1年次：2名(22%)	1年次：7名(78%)	1年次：0名(0%)
2・3年次：4名(22%)	2・3年次：14名(78%)	2・3年次：0名(0%)

問2-1. 問1で「期待していた」と答えた人に聞きます。

期待通りだった	期待通りではなかった
1年次：2名(100%)	1年次：0名(0%)
2・3年次：4名(100%)	2・3年次：0名(0%)

問2-2. 問1で「不安だった」や「興味がなかった」と答えた人に聞きます。

思っていた以上に面白かった	やはり面白くなかった
1年次：7名(100%)	1年次：0名(0%)
2・3年次：14名(100%)	2・3年次：0名(0%)

問3. 大学の先生の指導や助言はどうでしたか？(1~3年次全体)

刺激を受けた、面白かった	期待通りではなかった
27名(100%)	0名(0%)

問4. 科学部の活動は自分にとって役立ったと思いますか？(複数回答可、1~3年次全体)

自然科学に対する 興味が増した	進路選択の役に立った	勉強の意欲が増した	役に立たなかった
28名(65%)	9名(21%)	6名(14%)	0名(0%)

問5. 科学部の活動についての自由記述。

- ・自分から興味を持って研究に取り組むことで、自分の知識や興味のある分野が広がり、新しい発見がたくさんあった。忙しく大変なときもあったが、とても充実して楽しかった。(1年)
- ・期待や想像とかなり違う面がいろいろあったが、面白かった。毎日さまざまな新しい考え方や方向性に刺激を受け、個人的に引き出しが増えたように感じる。(1年)
- ・最初は大変だったが、研究を進めていくとともに出てくる結果や、自分の考えを認めてもらったときなど、これまで感じたことのない感動を覚えた。どんなことでも、やってみれば楽しいことを知ることができた。(1年)
- ・毎日同じような作業で辛いと思うときもあったが、協力して、何より楽しみながらできたと思う。先輩や友達と議論を交わしながら、少しずつ修正を重ねて研究を成功させていくのが楽しかった。時期によっては発表が多く忙しかったが、発表を通じて様々な人と触れ合う機会が増え、科学の面だけでなく色々学ぶことができた。(1年)
- ・身の回りの身近な疑問を、高校生らしい発想で解決していく面白さや、自分の意見だけではなくまわりの意見を尊重する大切さを教えてもらった。今後もそれらをより濃く感じられるように活動していきたい。(2年)

- ・あらゆることに対して批判的な視点で見る力を身につけることができた。(2年)
- ・中学のときは理科に全く面白さを感じられず、むしろ嫌いだったが、科学部での活動を通じて理科に興味を持つことができた。発表会では普段話すことのない人と研究について議論する楽しさを知った。これからも多くの人と有意義な議論をしたり、色々な視点で物事を見て、わからなければ問いかけることを大切にしたい。(2年)
- ・昨年度は、科学や色々な人と研究について交流する楽しさを知った年だったが、今年度は研究の大変さを感じながらも、自分自身で研究を進めていくことの楽しさや充実感を実感することができた年だった。(2年)
- ・だんだんわかってきたときのうれしさ、それまでやってきたことを崩してあらためて始める時の気の重さなど、研究の色々なことを体感した。これから生きていく上で大切なものを教えてくれた。(3年)

### 【振り返りと分析】

- ① 本校科学部で活動したいと考えて本校を受験する中学生が多くみられるようになった。しかし、多くの生徒は科学部での活動に不安を覚えて入部してくる。自分にも研究ができるのだろうか、成果を上げることができるのだろうかという漠然とした不安である。期待を持って入部した生徒は、目標が明確で研究の成果を上げて満足している。不安を持って入部した生徒も、グループ研究で上級生の指導と助言を得て成果を上げ、その結果自信を持つようになるため、満足感につながっているようである。中には、研究するという事について模索している生徒もおり、適切な助言を与える必要がある。
- ② コロナ禍でオーストラリア野外調査ができなかったため、その成果をまとめて米国サンフランシスコで開催される国際学会で発表する予定も延期となった。次年度はぜひとも海外研修を実施したい。
- ③ 科学部の部員数が、SSH指定1年目の令和2年度18名(男子14名、女子4名)、令和3年度24名(男子19名、女子5名)、令和4年度31名(男子19名、女子12名)と増加しており、活発に活動できた。
- ④ 優れた生徒の発掘と育成ができた。2年次女子生徒は、大阪大学 SEEDS に2年連続で合格し、日本植物学会でサボテン、日本動物学会でニハイチュウについて研究発表して、ともに特別賞と優秀賞を受賞した。さらに、日本農芸化学会「化学と生物」誌に論文掲載したほか、国際学会 The 9th International Conference on Geoscience Education (IX GeoSciEd 2022)で口頭発表し、論文を国際学会誌 Journal of Modern Education Review 誌に投稿して掲載された。

# 研究論文とポスター

## 外部磁力の強度による磁性流体のスパイクの形状変化

兵庫県立姫路東高等学校 科学部物理系研究部

○志村実咲 多田明良 菅原楓 高田健吾 西野侑吏 山浦奈々  
浦岡杜樹 陰山麻愉 松田理沙 村瀬太郎 大和司

キーワード：磁性流体 スパイク現象 臨界磁場

### 要 旨

磁性流体を磁場の近くに置くと、その磁力線の流れに沿って磁性流体から角が生えたような突起が形成されるスパイク現象という特徴的な現象が起こる。磁性流体の平面に対して上下方向に磁場を加え、臨界磁場に達すると、磁場の方向に沿って盛り上がりスパイクを形成する。スパイクは、磁性流体表面における磁場の強さと表面張力、重力のつり合いによって盛り上がり、一定の高さ以上にはならない。7～8mT で生じた円形のスパイクは、外部磁力を強くしていくにつれて円形から六角形へと変化し、隣接するスパイクが磁性流体の表面張力によって接着する。接着面は最短距離の直線となり、スパイク間の斥力を失って六角形をなす。さらに磁性を強めると、10mT 付近でスパイクは不安定化して五角形や七角形に崩れていく。

### 1. 動機と目的

磁性流体 (Magnetorheological fluid, Magnetic Fluid, Ferrofluid) とは、MR 流体とも呼ばれ、流体でありながら、磁性を帯び、砂鉄のように磁石に反応する性質を持つ機能性流体のひとつである。直径が 10nm 程度の磁性超微粒子と、分散媒体である水、有機溶剤、さらに粒子を吸着して分散媒体中で安定に分散させるための界面活性剤からなるコロイド溶液である。筆者らは youtube で磁性流体を知り、興味をもって先行研究を調べてみた。

磁性流体には、スパイク現象という特徴的な形状をなすことが知られている (図 1)。スパイク現象とは、磁場の近くに置くと、その磁力線の流れに沿って磁性流体から角が生えたような突起が形成される現象をいい、他の磁性体にはない特徴的な現象である。

筆者らは、磁場の設定場所によって、芸術的な美しいスパイクがのびるようすに感動した。M. Cowley and R. Rosensweig (1967) は、磁性流体に磁力をかけると、底面が六角形のスパイクが形成されることを示し (図 2)、スパイクが発生し始める臨界磁場の磁束密度について解析をおこなった。また、水田 (2010) は、六角形のスパイクの界面磁場を解析している。

Gailitis (1977) は、六角形のスパイク表面のエネルギー分布について研究し、さらに磁場を変化させることによって、六角形や四角形のスパイクが生じることを示した。磁力を強くすれば六角形や四角形のスパイクが生じることは、伊丹ほか (1994) や福田・堂原 (2000) も示している。しかし、磁力を次第に強くしていくことによって、どのようにスパイクの形状が変化していくのか、どのようにスパイク間の位置関係



図 1 磁性流体表面に生成するスパイク

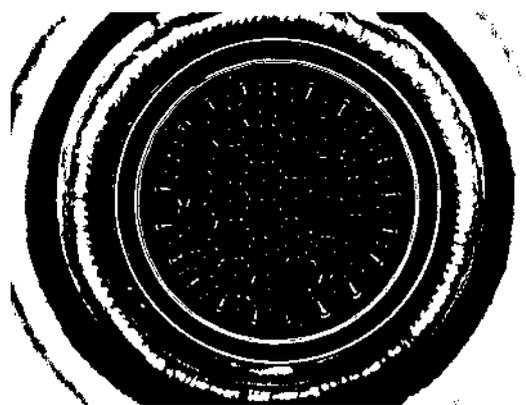


図 2 六角形のスパイクの底面 (M. Cowley and R. Rosensweig, 1967)

が変化するののかについては、まだ解明されていない。筆者らは、それらの点に注目して研究をおこなうことにした。

## 2. 実験方法

磁性流体は、酸化鉄、イソパラフィン、イソステアリン酸を成分とする、シグマハイケミカル社製 DS-50 を用いた。20℃密度 1.40、20℃粘度 97mPa/sec、飽和磁化 9mT である。外部磁場としてコイルを作成したが十分な磁力を生むことはできなかった。高い磁力をもつコイルは、とても購入できないほど高額であったため、やむなく縦 100mm×横 100mm×厚さ 10mm のケニス社製角形フェライト磁石 (140mT) SQ100 を 1~3 枚重ねて用いた。

磁性流体 37ml を内底面が 86mm×86mm のスチロール樹脂製容器に入れると 5mm の深さに溜まった。この容器を固定し、フェライト磁石を容器底面に近づけたり離したりして底面にかかる磁力を様々に変えて、どのようなスパイクが生成するかを観察した (図 3)。磁力の測定は、カネテック社製ガウスメーター TM-801 (直流磁界標準分解能測定モード 0~200.0mT の分解能 0.1mT、精度 ±5% of rdg. +3digit / 200.1~3000.0mT の分解能 1mT、精度 ±5% of rdg. +10digit) を用いた。容器底面の 5 か所で測定し (図 4)、その平均値を求めて外部磁場の強さとした。暗室内でブラックライトを当てて、上部からデジタルカメラでスパイクを撮影し、画像を 1mm 方眼紙に写し取って、スパイク間の距離や角度を測定した。



図 3 磁性流体のスパイクの測定実験

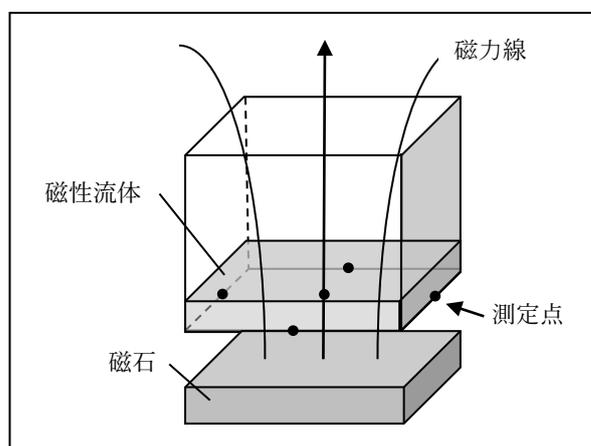


図 4 外部磁力の測定点 (各辺の中点の●で示す部分の 5 か所)

## 3. 結果

容器の底面中央から上方に向かって磁力線が曲線をなして伸びているため、底面の 5 か所で測定した値は、図 4 に示すように磁力線が上方外側に向かうため、各辺の中央部よりも底面中央部の測定値の方が強い。本研究では、5 か所の磁力の平均値をとってグラフ化した。

外部磁力の強さとスパイクの本数の関係 (図 6) と、同時に測定した、スパイク 1 本あたりの底面積 (図 7) をグラフにまとめて示す。測定回数は 154 回である。スパイクの本数は、磁力線によって斜めに立ち上がったものも含めて数えている。スパイク 1 本あたりの底面積は、容器周縁部で斜めに立ち上がったスパイクを除き、上方に立ち上がったスパイクの底面積を測定して平均値で示した。さらに、中央部のスパイクの高さ (図 8) を 168 回測定した。スパイクの高さは、容器中央部の最も高いスパイクの高さを測定した。いずれの測定値も紙面の都合上、ここでは省略する。

磁性流体の平面に外部磁力を加えると、7~8mT 付近で、底面が円形のスパイクが出現する。円形のスパイクの間には多くの隙間が見られる。磁力を強めていくと、スパイクは底面積をほぼ一定に保ったまま次第に高くなり、数を増やしていくため、隣接するスパイクどうしが接着するようになる。接着面は

最短距離の直線をなして、容易に底面が六角形をなすスパイクに変化する。さらに磁力を強めると、10mT 付近から、六角形のスパイクの中に五角形と七角形のスパイクが出現するようになる。外部磁力を強めると、スパイクの本数は増えていくが、六角形のスパイクが安定を失って底面積が小さい五角形や、

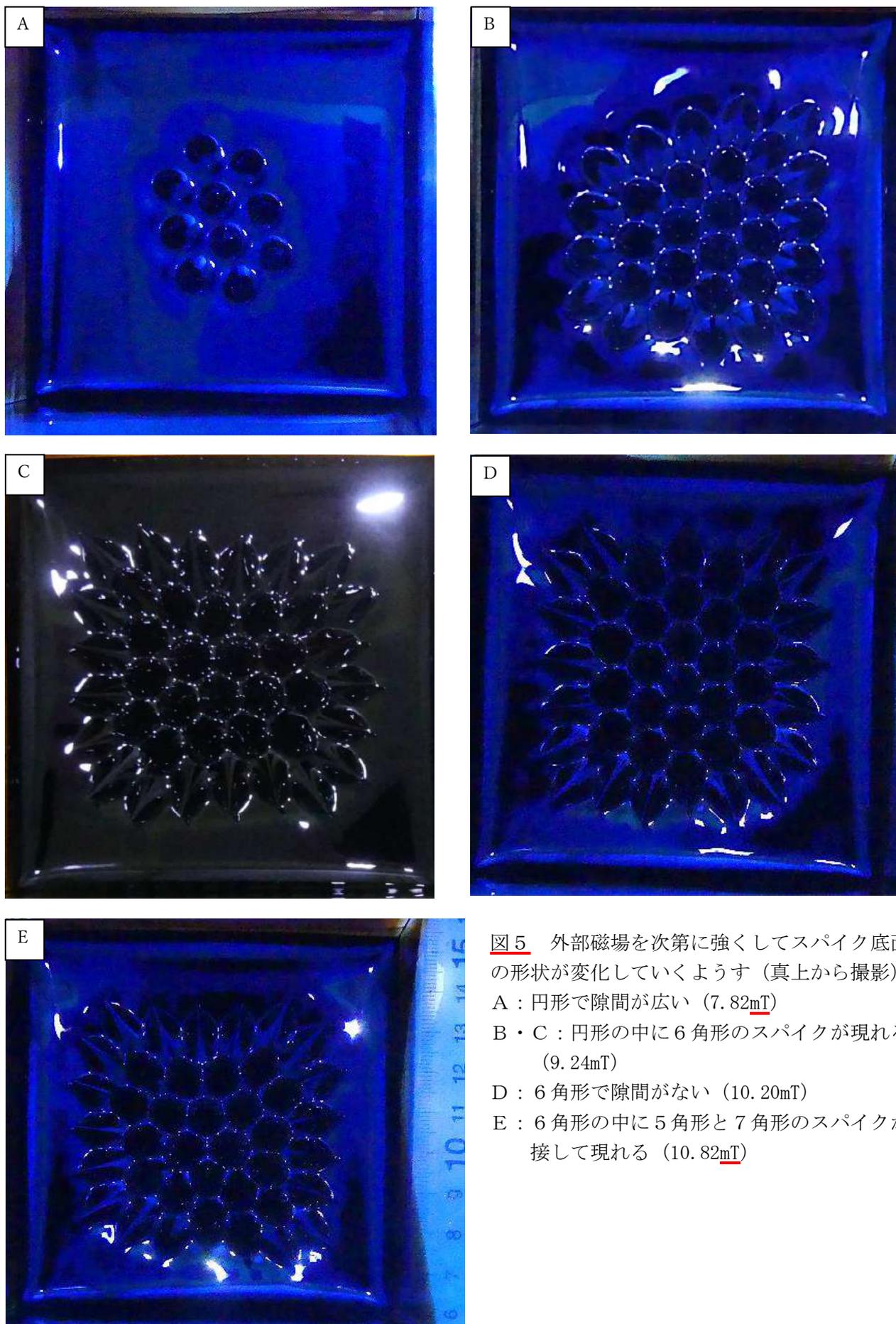


図5 外部磁場を次第に強くしてスパイク底面の形状が変化していくようす（真上から撮影）  
A：円形で隙間が広い（ $7.82\text{mT}$ ）  
B・C：円形の中に六角形のスパイクが現れる（ $9.24\text{mT}$ ）  
D：六角形で隙間がない（ $10.20\text{mT}$ ）  
E：六角形の中に五角形と七角形のスパイクが接して現れる（ $10.82\text{mT}$ ）

底面積が大きい7角形のスパイクに変化するものが現れるようになる。また、磁力を強くしても、1.2～1.4cm よりもスパイクが高くなることはほとんどない。福田・堂原（2000）は、磁性流体を入れる容器の形状や大きさは、スパイクの生成に影響を及ぼさないことを示している。

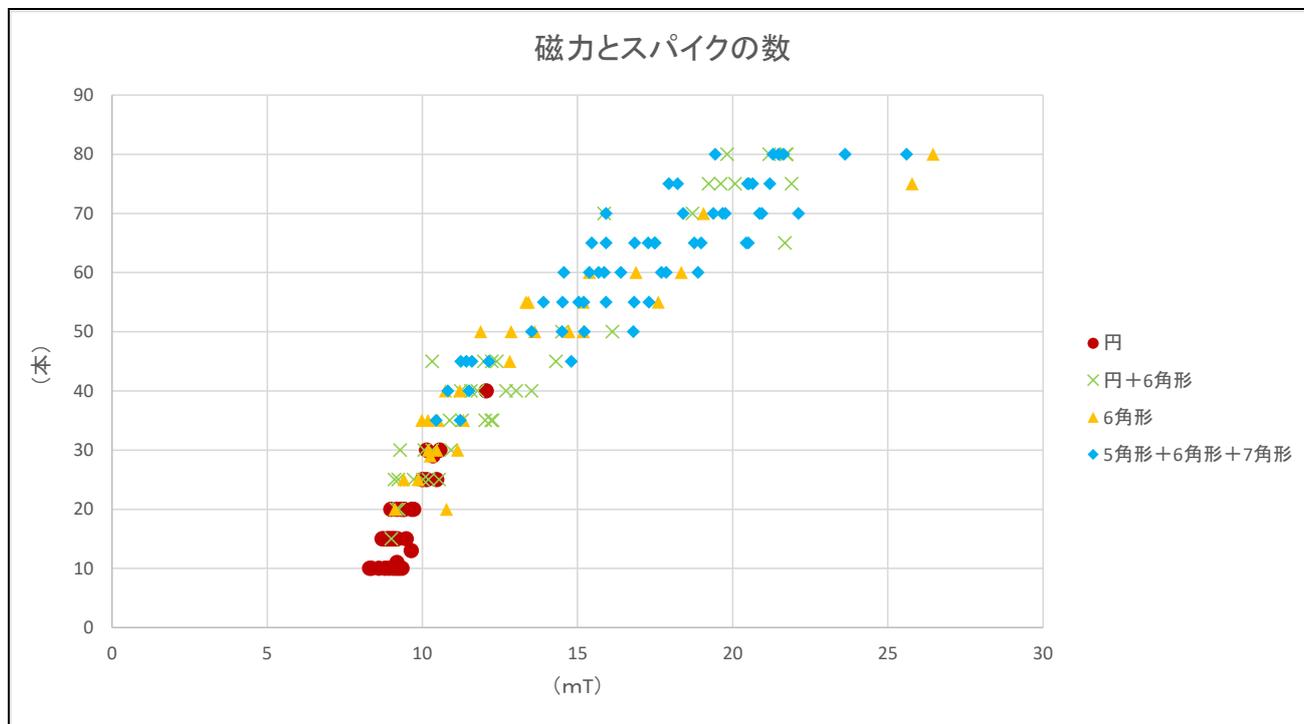


図6 外部磁力の強さとスパイクの本数の関係（測定 154 回）

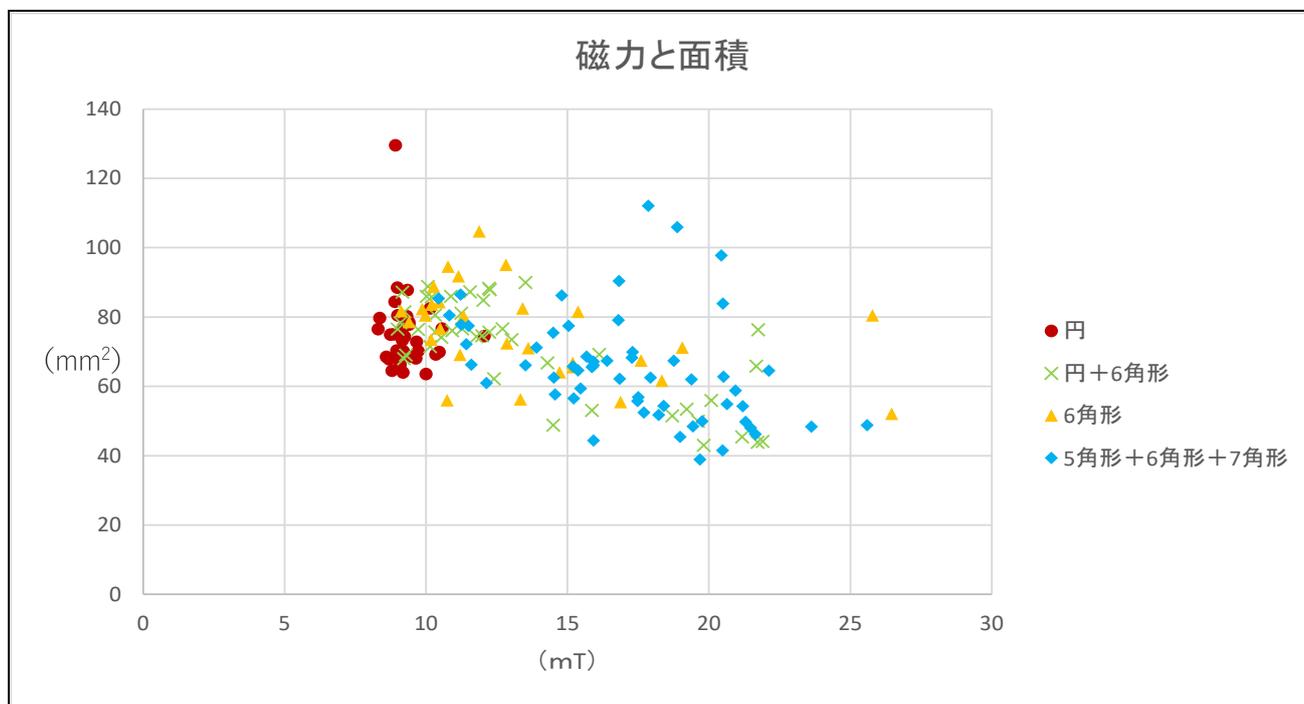


図7 外部磁力の強さとスパイク 1 本あたりの底面積（平均値）の関係（測定 154 回）

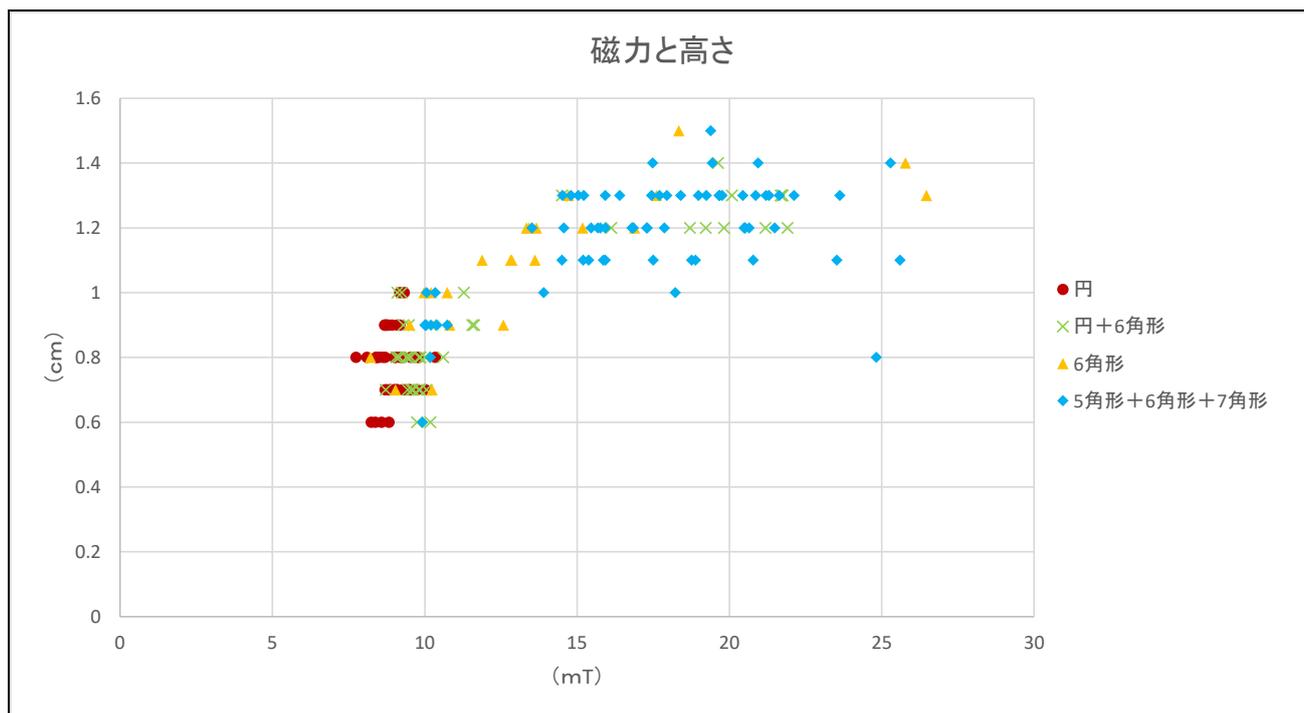


図8 外部磁力の強さと中央部のスパイクの高さの関係 (測定 168 回)

#### 4. 考察

磁性流体の平面に対して上下方向に磁場を加え、臨界磁場に達すると、平滑な平面を維持したまま、磁場の方向に沿って盛り上がりスパイクを形成する。スパイクの表面は、磁性流体内の磁性超微粒子どうしの引き合う力で盛り上がるが、磁性流体の表面張力および重力の合力とつりあった高さで安定となる。一方外部磁場に垂直な方向には斥力がはたらくため、スパイクは外部磁場を加えている平面全体に均一に分布すると考えられる (図9)。猪又 (2009) や石川ほか (2011) は、磁性超微粒子どうしの斥力で盛り上がるようすを、プログラム上のシミュレーションを用いて再現させることに成功している。

スパイクが円形から六角形へと成長するにつれて、隣接するスパイクが磁性流体の表面張力によって接着する。表面張力が大きくなり、斥力を上回ると、接着面は最短距離の直線となり、六角形をなすと考えられる (図10)。さらに磁性を強めると、10mT 付近でスパイクは不安定化して五角形や七角形に崩れていく。

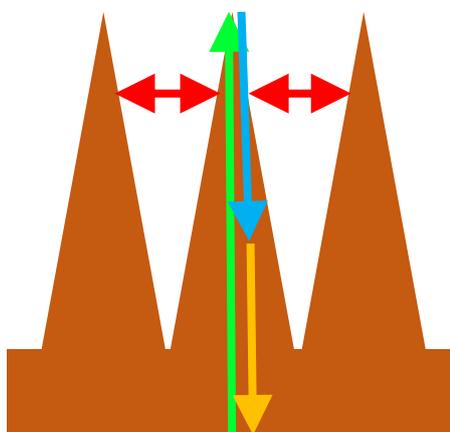


図9 スパイクのモデル図 (向きを表したもので、大きさは正確ではない)

- 赤：スパイク間の斥力
- 緑：磁性超微粒子どうしの引き合う力
- 青：表面張力
- 黄：重力

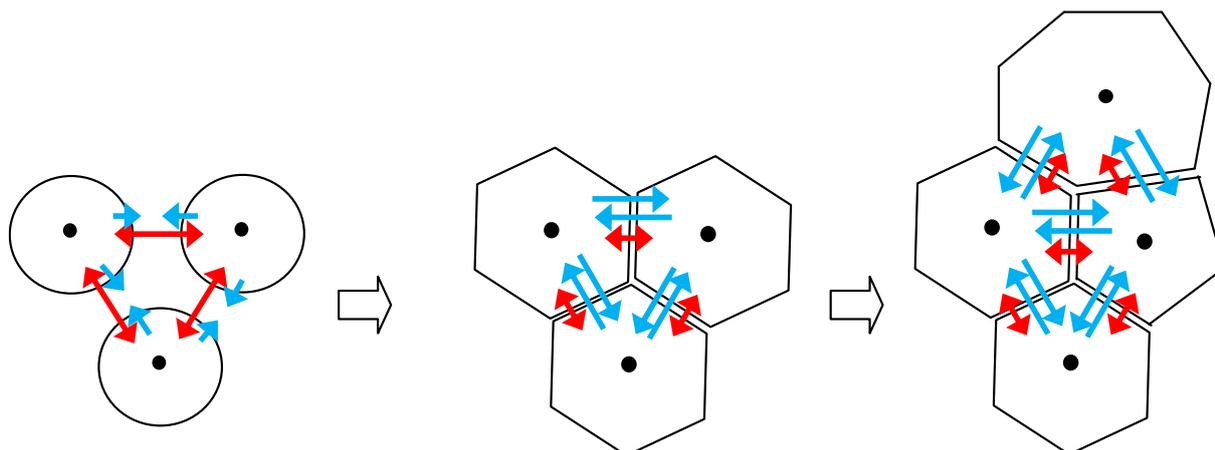


図10 外部磁場を強くするにつれてスパイク底面の形状が円形から六角形、五角形と七角形へ変化する  
(赤：斥力、青：表面張力)

## 5. 今後の課題

磁性流体を利用した応用機器が多方面で開発されており、本研究はその基礎研究となる。磁性流体のスパイクの形状が連続的に変化することを明らかにしたが、現在スパイク底面の磁性超微粒子にどのような力が加わって変化するのかについて研究をおこなっている。

磁性流体をガラス板で挟んで薄膜状にして、これに垂直に磁界を加えると、ラビリンスパターンという迷路のような模様が生じる。これも芸術的で非常に美しく筆者らの心をつかむ。今後はラビリンスパターンが生じる条件についても調べ、メディア・アート分野への応用に発展させたい。

## 6. 謝辞

本研究を行うにあたり、本校科学部顧問の川勝和哉主幹教諭には、考察において有意義な議論をしていただいた。ここに記して謝意を表す。

## 7. 引用文献

Cowley, M. and Rosensweig, R. (1967) The interfacial stability of ferromagnetic fluid. (J.Fluid Mech, vol.30, 671-688.)

Galitis, A. (1977) Formation of the hexagonal pattern on the surface of a ferromagnetic fluid in an applied magnetic fluid. (J.Fluid Mech, vol.82, 401-413.)

福田芳行・堂原教義 (2000) 磁性流体の界面変形現象に関する研究 (日本機械学会論文集, 66 巻, 651 号, 139-146.)

猪又溪吾 (2009) 磁性流体を表現するCGアルゴリズムの構築と芸術への応用 (電気通信大学大学院電気通信学研究科平成20年度修士論文)

石川知一・Yonghao Yue・岩崎慶・土橋宣典・西田友是 (2011) スパイク現象を表現するための磁性流体のビジュアルシミュレーション (情報処理学会研究報告, vol.144, 1-8.)

伊丹俊夫・松本英明・正木匡彦・荒磯恒久 (1994) 重力および無重力化での磁性流体の挙動 (日本マイクログラフィティ応用学会誌, Vol.11, No.3, 101-106.)

水田洋 (2010) 磁性流体界面における磁場解析と安定性解析 (数理解析研究所講究録, 1707 巻, 139-150.)

PB2

# 外部磁力の強度と磁性流体のスパイクの形状

兵庫県立姫路東高等学校 科学部 物理系研究部

志村実咲、菅原楓、西野佑吏、村瀬太郎、陰山麻侑、大和司、松田理沙

キーワード

- 磁性流体…流体でありながら、磁性を帯び、砂鉄のように磁石に反応する性質を持つ機能性流体
- スパイク現象…磁場の近くに置くと、その磁力線の流れに沿って磁性流体から角が生えたような突起が形成される現象(図1)
- 臨界磁場…磁性流体がスパイクを形成し始める磁場強度

動機と目的

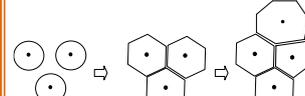
- YouTubeで磁性流体を知り、芸術的なスパイクがのびるように感動した。
- 先行研究を調べると、磁場を変化させることによって、六角形や四角形のスパイクが生じることを知った。
- 磁力を強くしていくことによって、どのようにスパイクの形状が変化していくのか、どのようにスパイク間の位置関係が変化するのが気になり、研究を始めた。



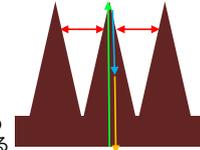
(図1)スパイク現象

考察

- 磁性流体の平面に対して上下方向に磁場を加え、臨界磁場に達すると、平滑な平面を維持したまま、磁場の方向に沿って盛り上がりスパイクを形成する。
- スパイクの表面は、磁性流体内の磁性超微粒子どうしの引き合う力で盛り上がるが、磁性流体の表面張力および重力の合力とつりあった高さで安定となる。
- 外部磁場に垂直な方向には斥力がはたらくため、スパイクは外部磁場を加えている平面全体に均一に分布すると考えられる。
- スパイクが円形から六角形へと成長するにつれ、隣接するスパイクが磁性流体の表面張力によって接着する。接着面は最短距離の直線となり、スパイク間の斥力を失って、六角形をなす(図4)。
- 磁力を強めると、10mT付近でスパイクは不安定化して五角形と七角形に崩れていく。



(図4) 外部磁場を強くするにつれてスパイク底面の形状が円形から六角形、五角形と七角形へと変化する



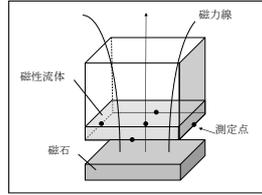
(図5) スパイクのモデル図

実験方法

- ①磁性流体37mlを容器に入れ、固定し、角形フェライト磁石を1~3枚重ね、容器底面に近づけたり離したりして底面にかかる磁力を様々に変え、どのようなスパイクが生成するかを観察した。(図2)
- ②ガウスメーターを用い、底面の5か所で磁力を測定し(図3)、その平均値を求めて外部磁場の強さとした。
- ③暗室内でブラックライトを当て、上部からデジタルカメラでスパイクを撮影し、画像を1mm方眼紙に写し取り、スパイクの底面積を測定した。



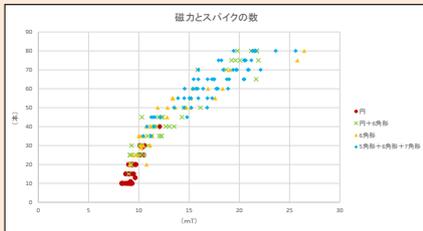
(図2) 実験の様子



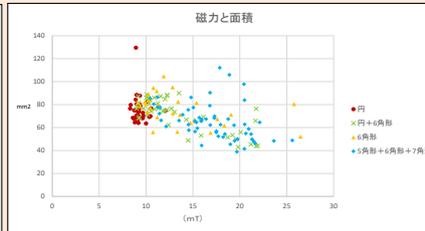
(図3)外部磁力の測定点(容器底面の中央と各辺の midpoint の●で示す部分の5か所)

結果

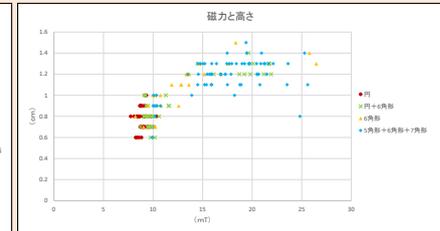
- 容器の底面中央から上方外側に向かって磁力線が曲線をなして伸びているため、底面の5か所で測定した値は、図3に示すように、各辺の中央部よりも底面中央部の測定値の方がやや強い。そのため平均値を用いた。
- 磁性流体の平面に外部磁力を加えると、7~8mT付近で、底面が円形のスパイクが出現する。
- 円形のスパイクの間には多くの隙間が見られるが、磁力を強めると、底面積をほぼ一定に保ったまま、数を増やしていくため、隣接するスパイクどうしが接着するようになる。接着面は最短距離の直線をなして、容易に底面が六角形をなすスパイクに変化する。
- 10mT付近から、六角形のスパイクが安定を失って底面積が小さい五角形や、底面積が大きい七角形のスパイクに変化するものが現れるようになる。
- 磁力を強くしても、1.2~1.4cmよりもスパイクが高くなることはない。



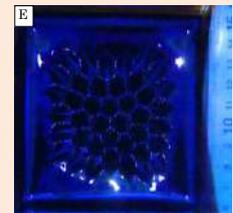
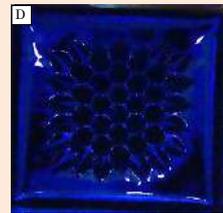
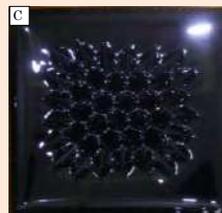
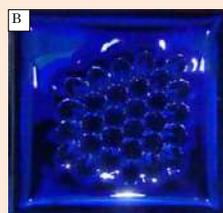
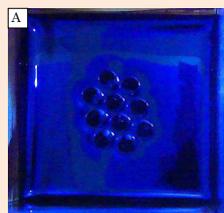
(図7)外部磁力の強さとスパイクの本数の関係 (測定154回)



(図8)外部磁力の強さとスパイク1本あたりの底面積 (平均値)の関係(測定154回)



(図9)外部磁力の強さと中央部のスパイクの高さの関係 (測定168回)



(図10)外部磁場を次々に強くしてスパイク底面の形状が変化していくようす (真上から撮影)

- A: 円形で隙間が広い(7.82mT)
- B・C: 円形の中に六角形のスパイクが現れる(9.24mT)
- D: 六角形で隙間がない(10.20mT)
- E: 六角形の中に五角形と七角形のスパイクが接着して現れる(10.82mT)

今後の課題

磁性流体をガラス板で挟んで薄膜状にして、これに垂直に磁界を加えると、ラビリンスパターンという迷路のような模様が生じる。これも芸術的で非常に美しく筆者らの心をつかむ。今後はラビリンスパターンが生じる条件についても調べ、メディア・アート分野への応用に発展させたい。



(図11) ラビリンスパターン

謝辞

本研究を行うにあたり、本校科学部顧問の川勝和哉主幹教諭には、考察において有意義な議論をしていただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

1. Cowley, M. and Rosensweig, R. (1967) The interfacial stability of ferromagnetic fluid. (J.Fluid Mech. vol.30, 671-688.)
2. Galitis, A. (1977) Formation of the hexagonal pattern on the surface of a ferromagnetic fluid in an applied magnetic field. (J.Fluid Mech. vol.82, 401-413.)
3. 福田芳行・堂原教義 (2000) 磁性流体の界面変形現象に関する研究 (日本機械学会論文集, 66巻, 651号, 139-146.)
4. 猪又漢吾 (2009) 磁性流体を表現するCGアルゴリズムの構築と芸術への応用 (電気通信大学大学院電気通信学研究科平成20年度修士論文)
5. 石川知一・Yonghao Yue・岩崎慶・土橋宣典・西田友是 (2011) スパイク現象を表現するための磁性流体のビジュアルシミュレーション (情報処理学会研究報告, vol.144, 1-8.)
6. 伊丹俊夫・松本英明・正木匡彦・荒磯恒久 (1994) 重力および無重力化での磁性流体の挙動 (日本マイクログラフィティ応用学会誌, Vol.11, No.3, 101-106.)
7. 水田洋 (2010) 磁性流体界面における磁場解析と安定性解析 (数理解析研究所講究録, 1707巻, 139-150.)

## 金平糖の成長に伴う「角」の消失の過程

兵庫県立姫路東高等学校 科学部物理系研究部

○佐藤知希 児玉尚子 多田明良 三井彩夏 後藤大道 竹内智哉 西野侑吏 横尾侑眞  
田村花里奈 藤盛心実 北条陸翔 溝垣月渚

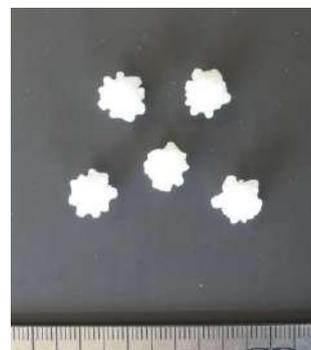
キーワード：金平糖 角 雹

### 要 旨

これまで、金平糖の角がどのように生じるのかについては多く研究されてきたが、ある程度大きくなった金平糖の角がどのように消失していき、角の本数が少なくなっていくのかについては研究されてこなかった。金平糖に生じた角の長さに不均一が生じた場合、長さの差が小さい場合には、短時間のうちに角と角の間の溝が埋められ、角が消失していく。しかし、生じた角の長さに大きな差（本研究では隣接する突出部が5mmに対して3mm以上、4mmに対して2mmに相当）がある場合には、なかなか角の間の溝が埋まらず、角は残る。最後まで残る角の条件は、角が高いだけではなく、隣接する角との高さに大きな差がある必要がある。

### 1. 動機

幼いころから親しんで食べている金平糖について、筆者らは長い間、どうして金平糖には角ができるのか、どの金平糖を見ても角の本数がほとんど同じなのはなぜなのか、いつ角はできるのか、と疑問に感じていた。金平糖について先行研究を調べてみると、中田（1995）など、金平糖を作る時の条件によって「角」の形状や本数が異なることを知ったが、それ以上のことが本格的に科学的な研究はおこなわれていない。金平糖にはさまざまな角の形状や本数のものが市販されている（[図1](#)）が、糖の成分や作成の方法等は公開されていない。



[図1](#) 緑寿庵清水の伝統的な金平糖

### 2. 予備観察

金平糖の粒子の成長には、容器を動かす速度と温度、上から垂らす糖の量に関係している（中田，1995）。筆者らは予備観察として、金平糖を作りながら、角の本数や形状の変化についての課題を洗い出すことにした。



[図2](#) 金平糖の作成

けしの実を種として用いて、加熱した小型のフライパンで加熱した後、グラニュー糖を蒸留水に溶解して25%の溶液を作った。フライパンを火からおろして、糖の溶液を1mlずつ垂らし、よくかき混ぜる。再びフライパンを火にかけて加熱する。この操作を50回繰り返して、金平糖を作成した（[図2](#)）。

金平糖の核であるけしの実に糖が付着して成長を始めると、不均一に成長した部分に角ができ始める。角がどの位置に何本できるかは、そのときの糖の付着の場所によってランダムに決まる。さらに糖を垂

らしていくと、角の先に糖が付着しやすくなり、角が成長していく。その後、次第に隣接する角と角が合体をはじめ、成長しながら角は本数を減らしていく (図3)。

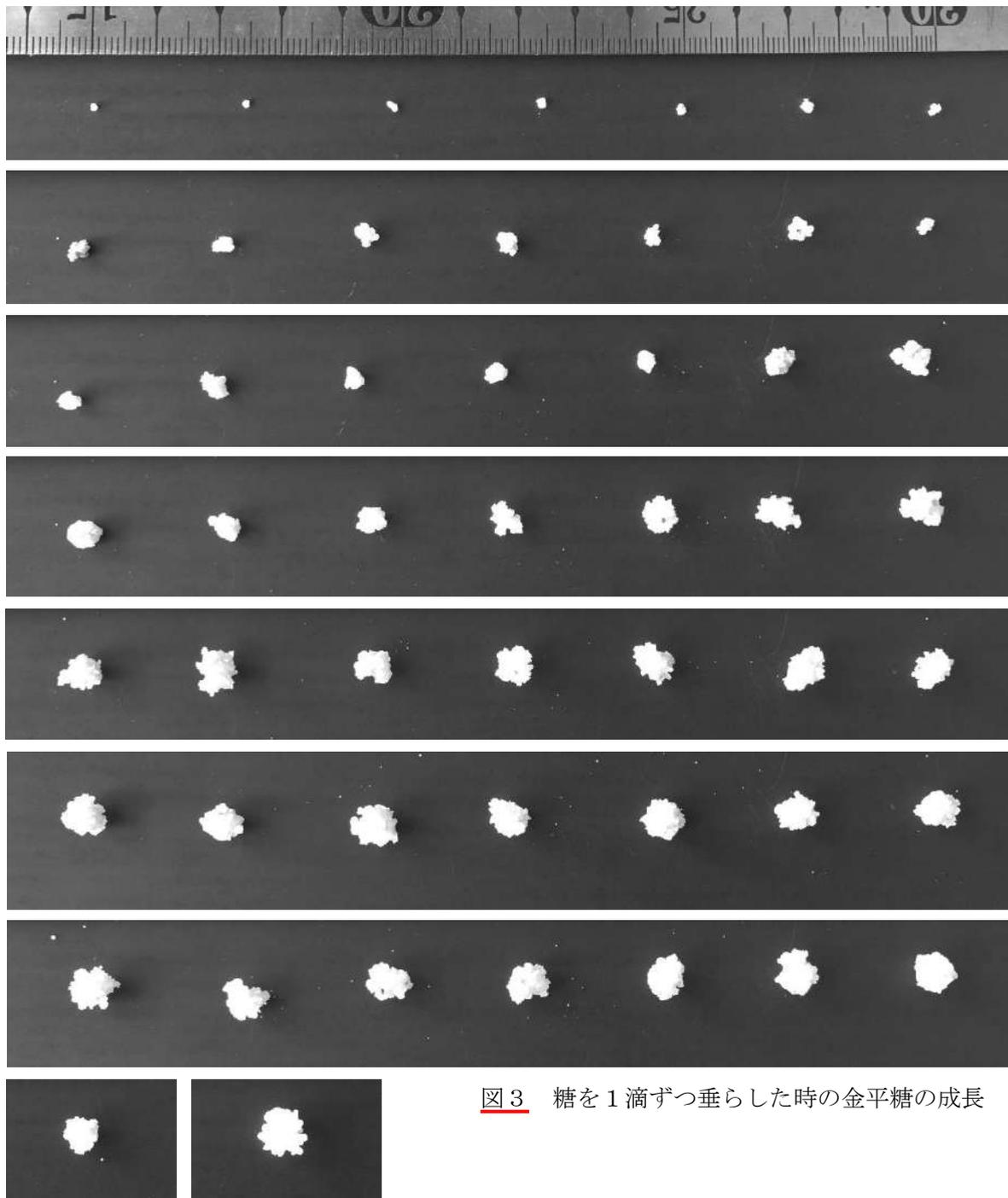


図3 糖を1滴ずつ垂らした時の金平糖の成長

### 3. 研究の目的

角の成長と消失の予備実験の結果は、Murai and Nakata (1988) の数値シミュレーションモデル (図4) と類似している。また鈴木 (2020) も、金平糖が大きく成長するにつれて、外形が次第に変化していくようすをシミュレーションで示している。しかしこれらは、段階的な外形の変化を示すものであり、角の成長と消失の過程を断面で連続的に示すものではない。さらに塚本 (2019) は、角のある核となる種のまわりに同心円状に糖が成長している様子を、金平糖断面の透過電子顕微鏡写真と偏光顕微鏡写真で示しており (図5)、金平糖が同心円状に成長したようすが推測できるが、角がどのように成長し消失

したのかはわからない。そこで本研究では、角の消失の過程について研究することにした。

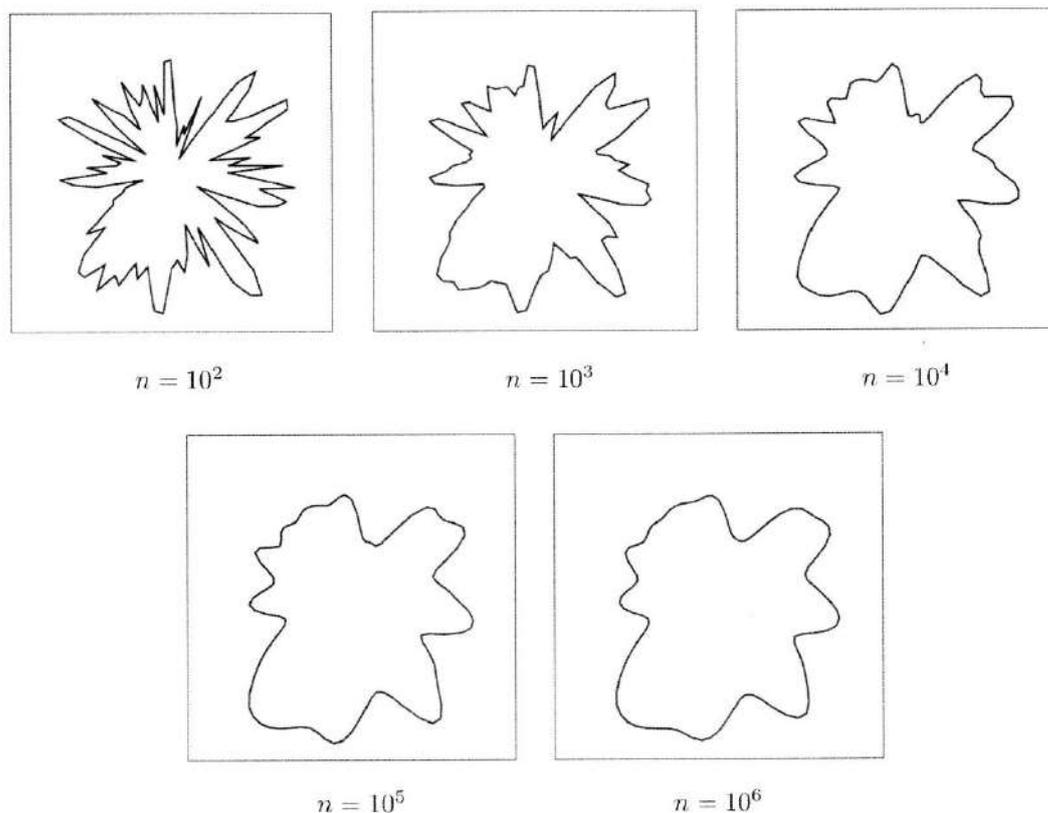


図4 中田・村井モデルの数値シミュレーション（nは著者らが設定した成長段階）

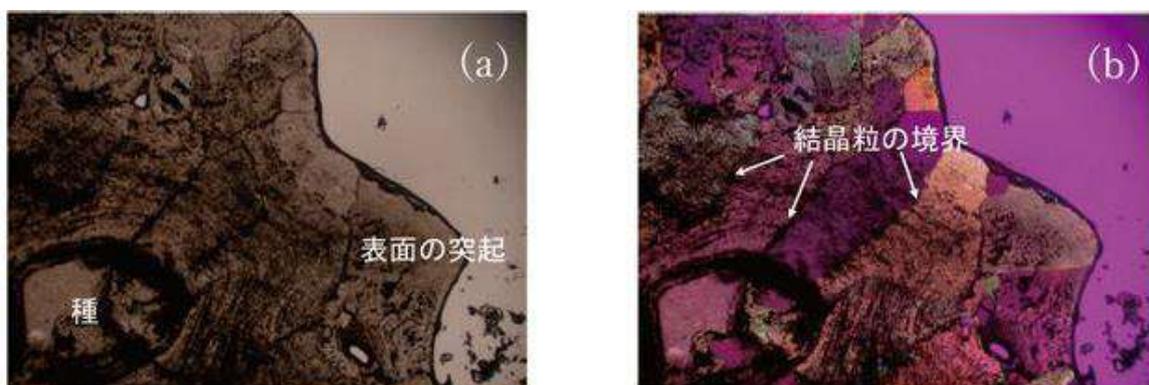


図5 簡便な方法で作った金平糖の断面（a：透過電子顕微鏡写真、b：偏光顕微鏡写真）（塚本, 2019）

#### 4. 実験の方法

直径 10mm の木製の円柱の棒に、ドライバーを用いて 6mm 間隔に穴を 3 つ開け、そこに直径 2.5mm の竹串を差し込む。竹串の突起部分の長さをさまざまに変えたものを作成した (図6)。これに絵の具で着色した UV レジン(ブルーライトを当てることによって硬化する樹脂) に竹串の部分を浸し、引き上げてたれ落ちないように回転させながら、原ウール社製 UV/LED レジンライト 6W (波長 405nm+365nm) を当てて硬化させる。竹串の突起の高さの違いがなくなるまで赤、青、黄、緑に着色したレジン(ブルーライトを当てることによって硬化する樹脂) を順に浸して、硬化させる作業を繰り返す。こうしてできた試料を半分に切り、断面を観察する。角の周囲に層状に重なった部分の厚さを測

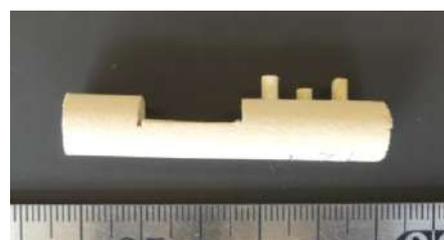


図6 実験用の試料の例

定し、重なり方を観察する (図7)。

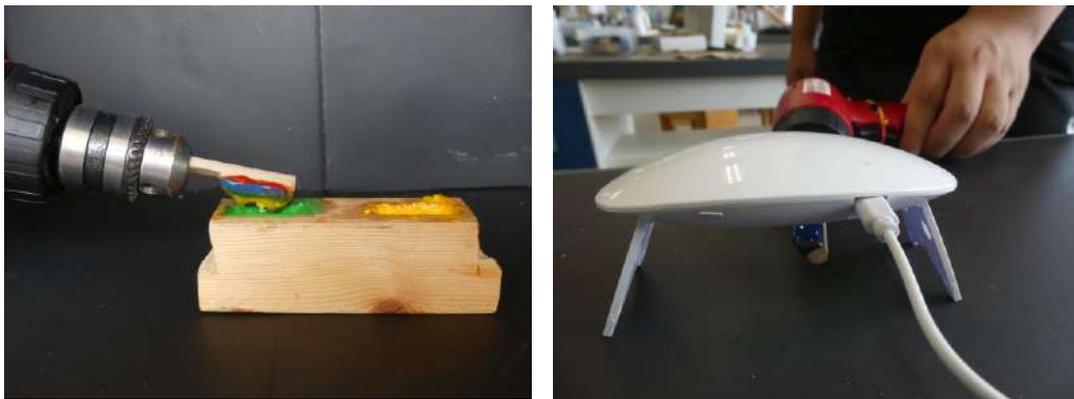
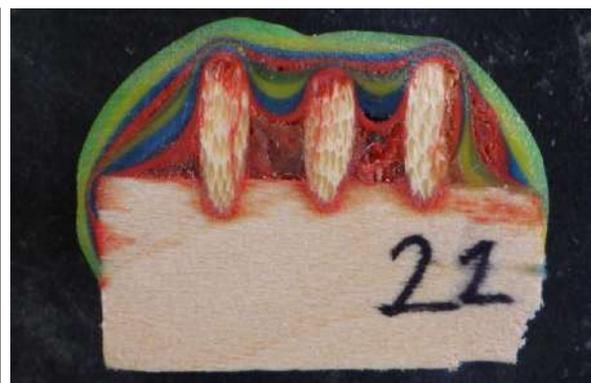
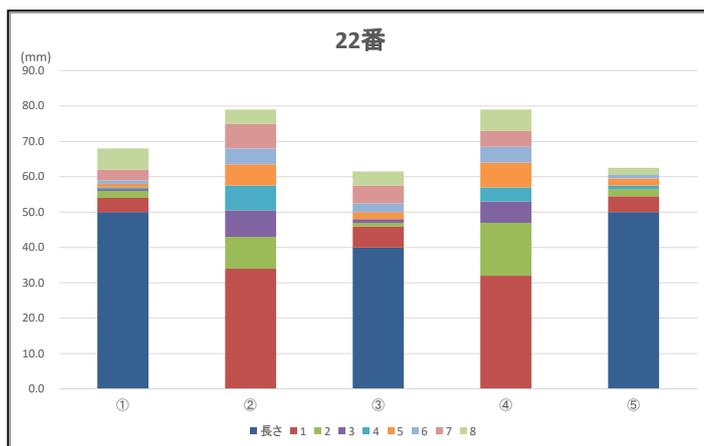


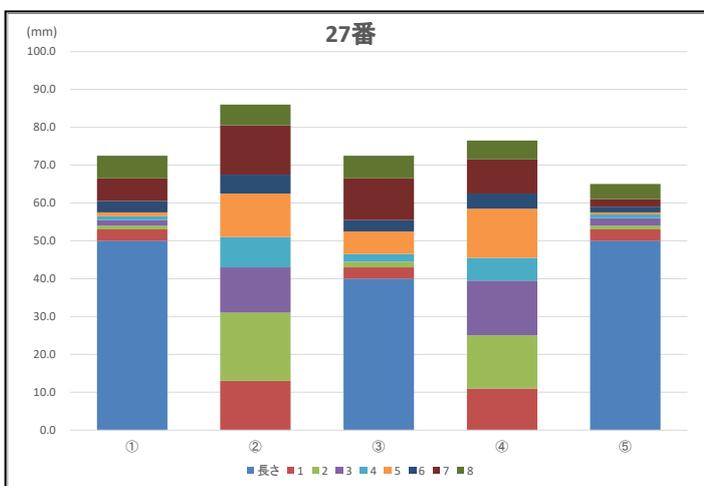
図7 実験操作の写真 (左：レジンに浸す、右：UV を当てて硬化させる)

### 5. モデル実験の結果

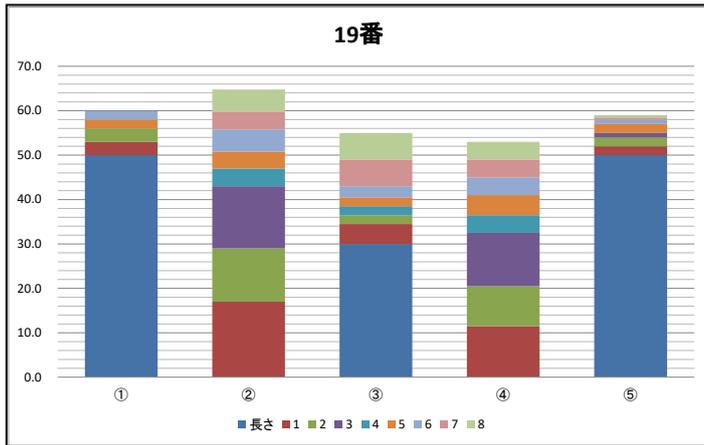
角に見立てた突出部のレジンが重層していくようすを図8に示した。突出部の長さによって、あるいは長さの差によって、重層のようすには違いがみられる。グラフの①、③、⑤の縦軸0mmからの青色の棒の高さは、竹串で作成した突出部の高さを示している。実測値は巻末に資料として示した。



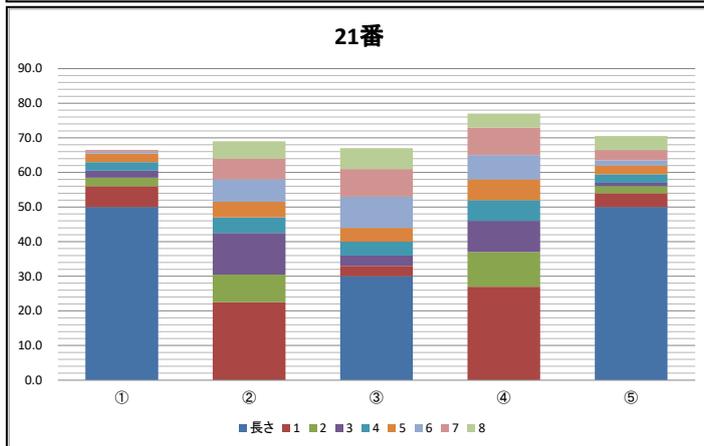
突出部の長さ：左から 5mm、4mm、5mm



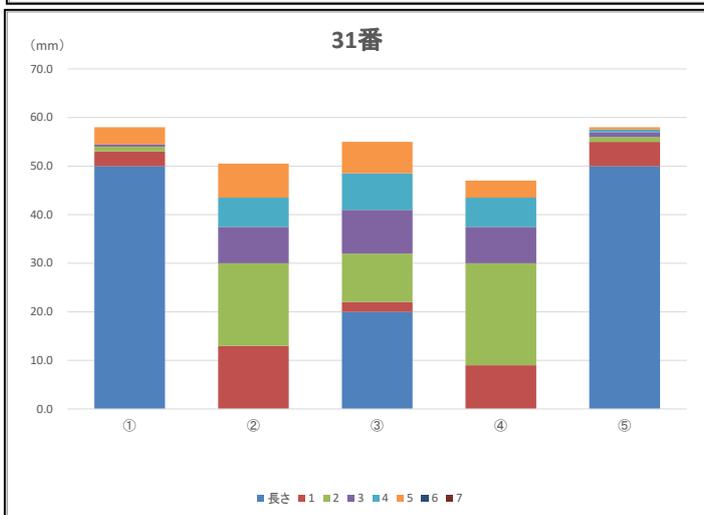
突出部の長さ：左から 5mm、4mm、5mm



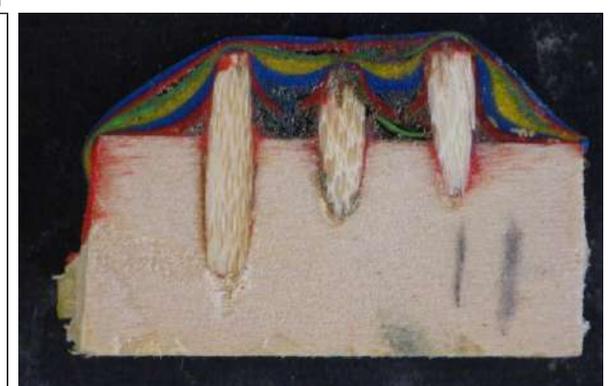
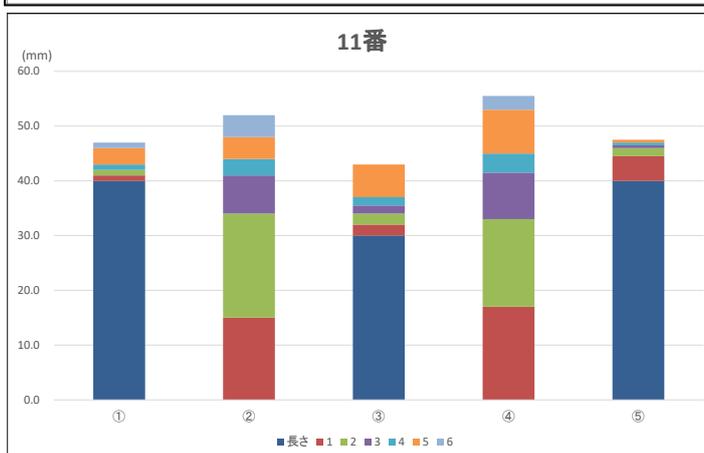
突出部の長さ：左から 5mm、3mm、5mm



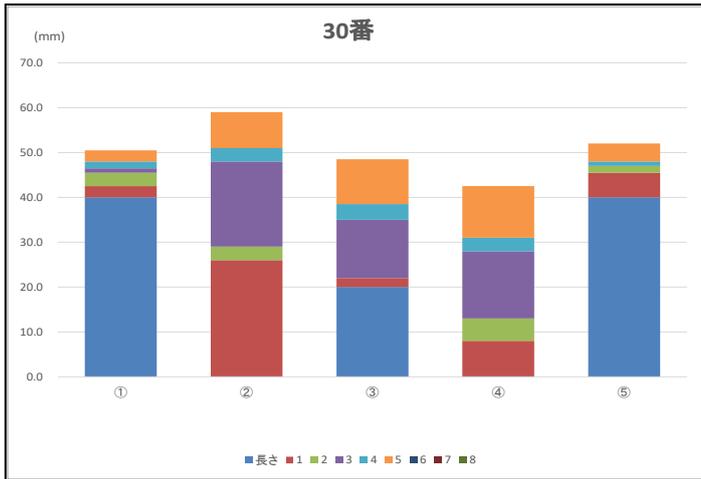
突出部の長さ：左から 5mm、3mm、5mm



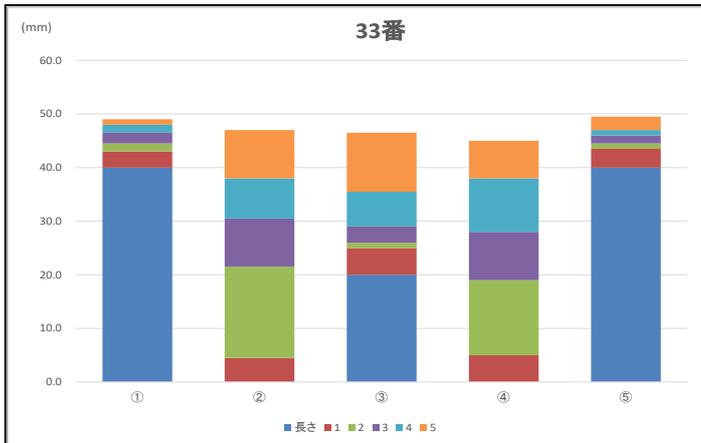
突出部の長さ：左から 5mm、2mm、5mm



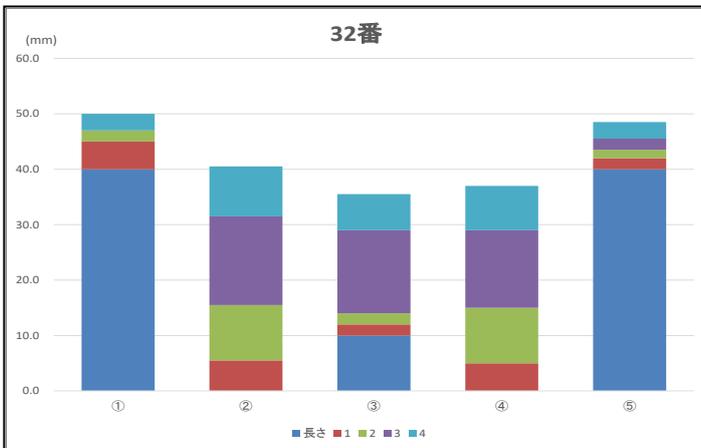
突出部の長さ：左から 4mm、3mm、4mm



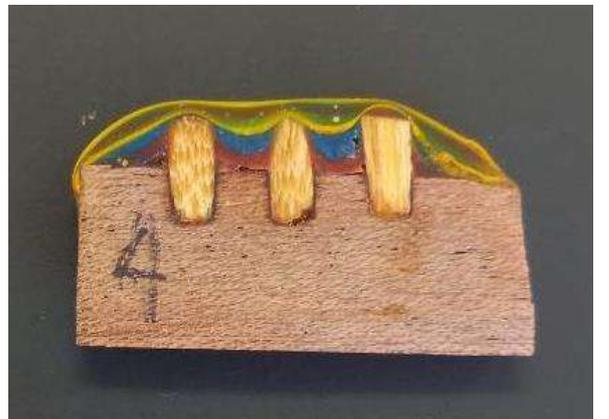
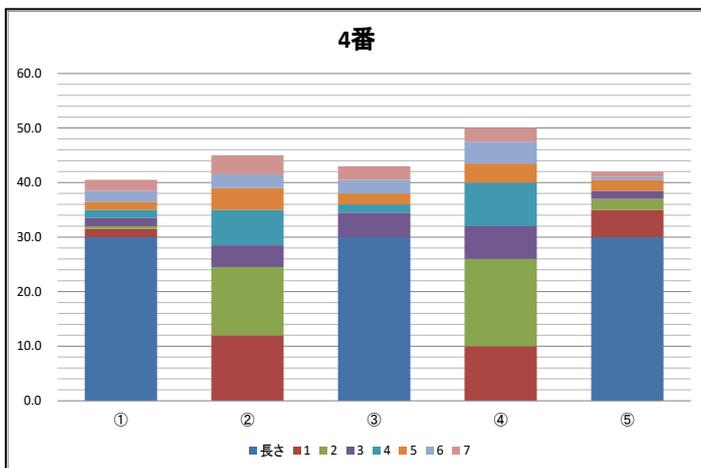
突出部の長さ：左から 4mm、2mm、4mm



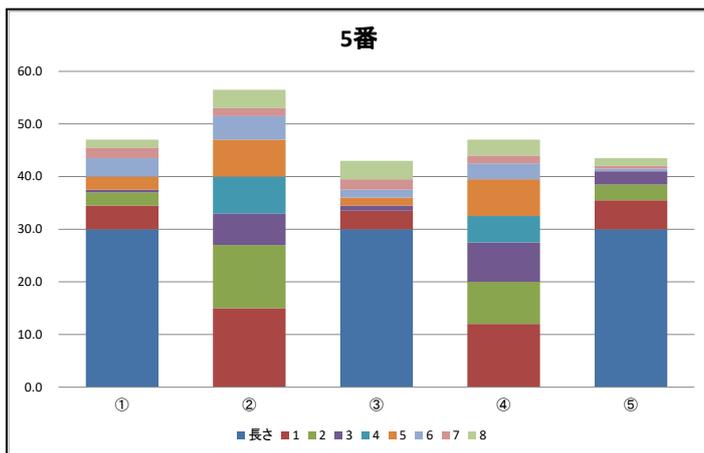
突出部の長さ：左から 4mm、2mm、4mm



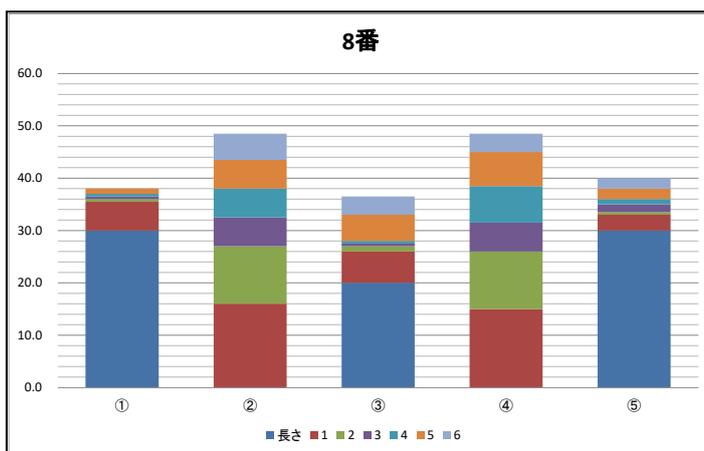
突出部の長さ：左から 4mm、1mm、4mm



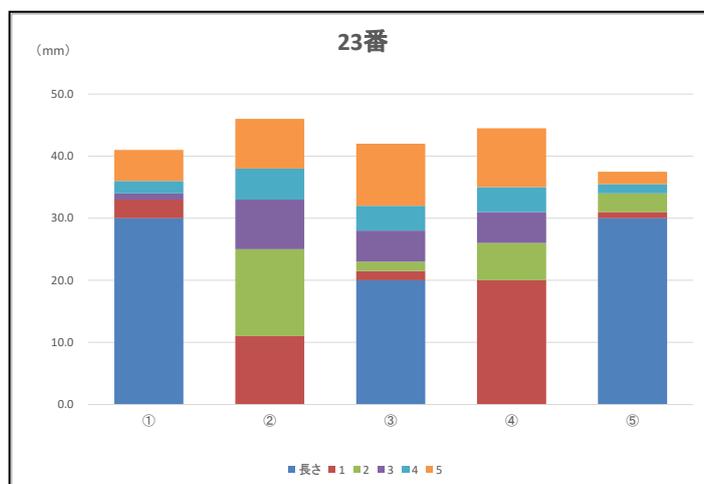
突出部の長さ：左から 3mm、3mm、3mm



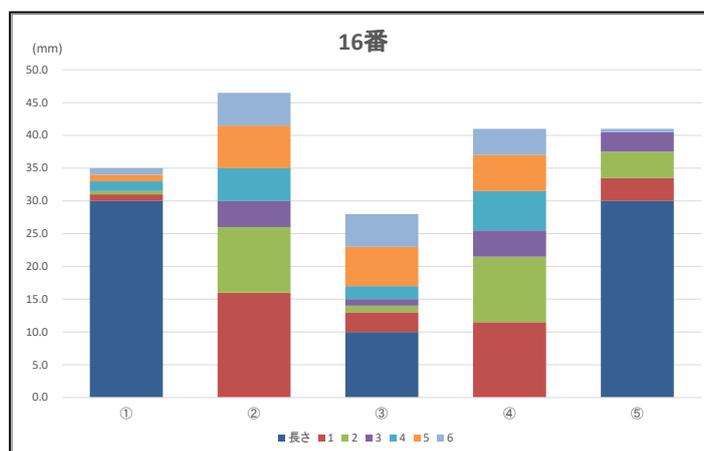
突出部の長さ：左から 3mm、3mm、3mm



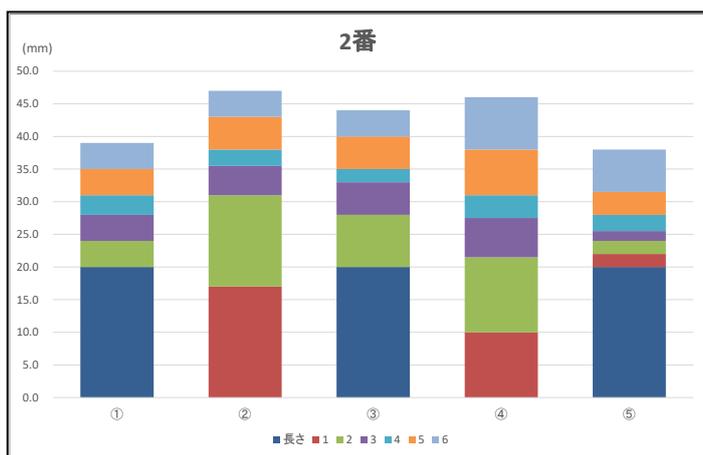
突出部の長さ：左から 3mm、2mm、3mm



突出部の長さ：左から 3mm、2mm、3mm



突出部の長さ：左から 3mm、1mm、3mm



突出部の長さ：左から 2mm、2mm、2mm

図8 さまざまな条件のモデル実験の結果

金平糖の角に見立てた竹串の突出部の長さの差がない場合（4番、5番、2番）や、差が1mmの場合（22番、27番、11番、8番、23番）には、3回～5回レジンに浸すとほぼ高さの違いがなくなる。差が2mmになると5回～8回浸すことが必要となり（19番、21番、30番、33番）、差が3mmになると、8回浸しても角の溝を埋めて高さの差をなくすることはできなくなる（31番、32番）。差が2mmの場合でも、両端の突出が低いと、溝を埋めることができない（16番）。

## 6. 考察

これまで、金平糖が成長する過程には、① 雪がさまざまな形をとるように、何らかの理由で角が形成されると、濃度の高い糖の方に成長を続ける、という考えや、② 乾燥した糖の小さな粉が丸い糖の表面に付着して角ができる、というモデルがある（塚本, 2019）。一方で、ある程度大きくなった金平糖の角がどのように消失していき、角の本数が少なくなっていくのかについては研究されてこなかった。

角がどの位置に何本できるかはランダムに決まる。金平糖に生じた角の長さ不均一が生じた場合、隣接する角の長さの差が小さいと、短時間のうちに角と角の間の溝が埋められ、角が消失していくと考えられる。しかし、隣接して生じた角の長さに大きな差（本研究では突出部の5mmに対して3mm以上、4mmに対して2mmに相当）がある場合には、溝を埋めることが困難になり、角は埋められずに残る。最後まで残る角の条件は、角が高いだけではなく、隣接する角との高さに大きな差がある必要がある。

## 7. 今後の課題と発展

本研究では、角の間隔を一定にして実験をおこなった。間隔によって角の消え方には違いがあると考えられるため、今後のモデル実験では、間隔を変えた実験をおこないたい。また、本研究のように簡易に作成できる金平糖で形成される角の本数は、だいたいいつも最大で16本ないしは24本となる。この理由は何なのか明らかにしたい。もしかすると、種の形に関係しているのかもしれない。

伝統的な方法で2週間程度かけて作られる銘菓の金平糖では、数時間の簡便な方法で作成した今回のような金平糖と比べて、成長速度が非常に遅いため、薄い糖の層が緻密に重なってできており、そのために硬く長期間保存が可能なのだという（塚本, 2019）。これについても、成長の過程を明らかにできないか検討したい。

金平糖の形状は、上空から融解せずに落下してくる雹の形状に類似していることに気付く。中国やメキシコで確認されている金平糖型の雹を図9に示した。本研究の成果は、単に金平糖の形状についてのものではなく、上空に漂う微細な塵などを核として水分が成長して雹を形成する過程の解明の端緒にもなるものと期待される。



図9 金平糖型の雹（A：火災保険有効活用サポートナビ,2022、 B：Nairaland Forum, 2022）

## 8. 謝辞

本研究を行うにあたり、大阪糖菓株式会社の浜田様には、金平糖作成の方法についてご教示いただいた。また、本校科学部顧問の川勝和哉主幹教諭には、考察において有意義な議論をしていただいた。ここに記して謝意を表す。

## 9. 引用文献

火災保険有効活用サポートナビ (2022) fire-insurance-navi.com

Murai, N. and Nakata, T. (1988) Rounded spikes of kompeitoh and scaling relations (Amer. J. Phys. 56, 459-462)

Nairaland Forum (2022) Snow Look Like Coronavirus Rain-fall In Adamawa (nairaland.com)

中田友一 (1995) 金平糖の数理モデル (日本オペレーションズ・リサーチ学会誌, 165-169)

鈴木宏昌 (2020) 金平糖成長過程の連続モデル (滋賀大学教養学部紀要, No 70, 165-171)

塚本勝男 (2019) 金平糖の不思議 (砂糖類・でん粉情報, 6, 2-6)

# 金平糖の成長に伴う「角」の消失の過程

兵庫県立姫路東高等学校

佐藤知希、後藤大道、竹内智哉、西野佑吏、横尾侑眞、田村花里奈、北條陸翔、溝垣月渚

キーワード 金平糖 角 雹

### 動機

幼いころから親しんで食べている金平糖について、わたしたちはなぜこのような形をしているのか疑問に感じた。金平糖について先行研究を調べてみると、中田（1995）など、金平糖を作る時の条件によって「角」の形状や本数が異なることを知ったが、それ以上の科学的な研究は行われていない。

### 先行研究と研究目的

- 角の成長と消失の予備実験の結果は、Murai and Nakata (1988) の数値シミュレーションモデル (図1) と類似している。また鈴木 (2020) も、金平糖が大きく成長するにつれて、外形が変化していく様子をシミュレーションで示している。しかしこれらは段階的な外形の変化を示すものであり、角の成長と消失の過程を連続的に説明するものではない。
- 塚本 (2019) は、角ができる種のまわりに同心円状に糖が成長している様子を、金平糖断面の透過電子顕微鏡写真と偏光顕微鏡写真で示しており (図2)、金平糖が同心円状に成長した様子が推測できるが不明瞭で、角がどのように成長し消失したのかはわからない。そこで本研究では、角の消失の過程について研究することにした。



図1 中田・村井モデルの数値シミュレーション (nは著者が設定した成長段階)

図2 簡便な方法で作った金平糖の断面 (a: 透過電子顕微鏡写真, b: 偏光顕微鏡写真) (塚本,2019)

### 実験方法

- 直径10mmの木製の円柱の棒に6mm間隔に穴を3つ開け、そこに直径2.5mmの竹串を差し込む。
- 竹串の長さを様々に変えたものを作成する (図5)。
- ②で作成したものの竹串の部分に絵の具で着色したUVレジンに竹串の部分を通し、UV/LEDレジンライトを当てて硬化させる。
- 竹串の高さの違いがなくなるまで赤、青、黄、緑に着色したレジンに浸し、硬化させる作業を繰り返す。
- できた試料を縦半分に切り、断面の角の周囲に層状に重なった部分の厚さを測定し、重なり方を観察する (図6)。



図5 実験用の試料

図6 実験操作の写真 (左: レジンに浸す, 右: UVを当てて硬化させる)

### 考察

- これまで、ある程度大きくなった金平糖の角がどのように消失していき、角の本数が少なくなっていくのかは研究されてこなかった。
- 金平糖の成長の過程で形成された角は、その後短くなることはなく、その溝を埋めていくことで角の本数が減少していく。
- 金平糖に生じた角の長さに不均一が生じた場合、隣接する角の長さの差が小さい場合には、短時間のうちに角と角の間の溝が埋められ、角が消失していく。
- 隣接して生じた角の長さに大きな差がある場合には、溝を埋めることが困難になり、角は埋まらずに残る。
- 最後まで残る角の条件は、角が高いだけでなく、隣接する角との高さに大きな差がある必要がある。

### 予備実験

- 金平糖の粒子の成長には、容器を動かす速度と温度、上から垂らす糖の量が関係している (中田,1995)。わたしたちは予備観察として、金平糖を作り、角の本数や形状の変化についての課題を洗い出した。
- けしの実を種として用いて、加熱した小型のフライパンで加熱した後、グラニュー糖を蒸留水に溶解して25%の溶液を作った。フライパンを火からおろして、糖の溶液を1mlずつ垂らし、かき混ぜる。再びフライパンを火にかけて加熱する。この操作を50回繰り返して、金平糖を作成した (図3)。
- 金平糖の核であるけしの実に糖が付着して成長を始めると、不均一に成長した部分に角ができ始める。角がどの位置に何本できるかは、そのときの糖の付着の場所によってランダムに決まる。いったん形成された角はその後短くなることはなく、次に溝が埋められて、金平糖は成長しながら角の本数を減らしていく (図4)。



図3 金平糖の作成

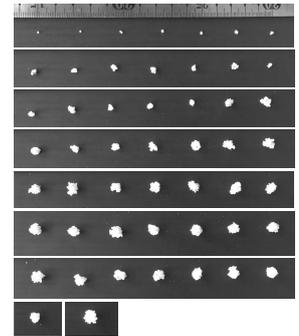


図4 糖を1滴ずつ垂らした時の金平糖の成長

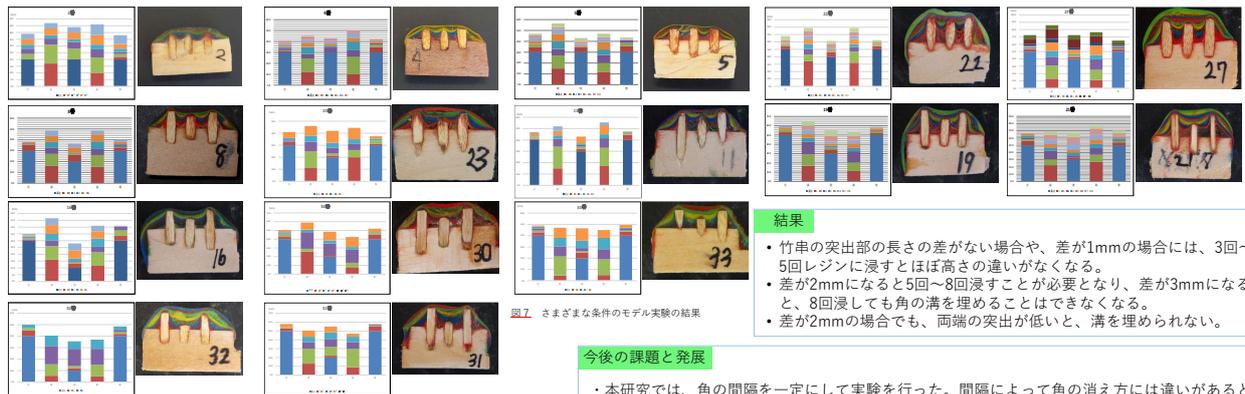


図7.さまざまな条件のモデル実験の結果

### 結果

- 竹串の突出部の長さの差がない場合や、差が1mmの場合には、3回~5回レジンに浸すとほぼ高さの違いがなくなる。
- 差が2mmになると5回~8回浸すことが必要となり、差が3mmになると、8回浸しても角の溝を埋めることはできなくなる。
- 差が2mmの場合でも、両端の突出が低いと、溝を埋められない。

### 今後の課題と発展

- 本研究では、角の間隔を一定にして実験を行った。間隔によって角の消え方には違いがあると考えられるため、今後のモデル実験では、間隔を変えた実験を行いたい。
- 本研究のように簡易に作成できる金平糖で形成される角の本数は最大で16本ないしは24本となる。この理由は何なのか明らかにしたい。種の形に関係している可能性も考えられる。
- 金平糖の形状は、上空から融解せずに落下してくる雹の形状に類似している。中国やメキシコで確認されている金平糖型の雹を図8に示した。本研究の成果は、上空に漂う微細な塵などを核として水分が成長して雹を形成する過程の解明の端緒にもなるものと期待される。



図8 金平糖型の雹 (A: 火災保険有効活用サポートナビ,2022. B: Nairaland Forum,2022.)

### 引用文献

- 火災保険有効活用サポートナビ (2022) [fire-insurance-navi.com](https://fire-insurance-navi.com)
- Murai, N. and Nakata, T. (1988) Rounded spikes of kompeitoh and relations (Amer.J.Phys. 56, 459-462)
- Nairaland Forum (2022) [Snow Look Like Coronavirus Rain-fall In Adamawa \(nairaland.com\)](https://www.nairaland.com/4141414/snow-look-like-coronavirus-rain-fall-in-adamawa)
- 中田友一 (1995) 金平糖の数理モデル (日本オペレーションズ・リサーチ学会誌, 165-169)
- 鈴木宏昌 (2020) 金平糖成長過程の連続モデル (滋賀大学教養学部紀要, No 70, 165-171)
- 塚本勝男 (2019) 金平糖の不思議 (砂糖類・でん粉情報, 6, 2-6)

### 謝辞

本研究を行うにあたり、大阪糖業株式会社の浜田様には、金平糖作成の方法についてご教示いただいた。また、本校科学部顧問の川勝和哉主幹教諭には、考察において有意義な議論をしていただいた。ここに記して謝意を表す。

## サボテン (ブリンチュウ *Pachycereus pringlei*) の刺座の配列方程式

兵庫県立姫路東高等学校 科学部生物系研究部

○岸上葉菜 前田智彦 本脇敬人 吉田龍之介 藤田詩桜 村瀬太郎 大和司

キーワード：共有刺座 歪み 螺旋方程式

### 要 旨

2022年に兵庫県立姫路東高等学校科学部は、10種類のサボテンの刺座の配列を測定し、螺旋の規則性の有無について研究したが、刺座の配列の規則性を見出すことはできなかった。筆者らは、規則性が認められなかった原因は、刺座の位置を座標として測定しなかったこと、個体ごとの歪みを修正しなかったこと、によるものと考えた。試料としてブリンチュウ8個体を用いて刺座の配列を座標として測定し、個体ごとの歪みを補正した。

筆者らは、以下について明らかにした。① ブリンチュウの刺座は、上方中央から下方に向かって、左回りと右回りに螺旋を描いて、共有刺座で出会いながら配列している。② 刺座の配列の歪みの多少にかかわらず、刺座配列の螺旋方程式を求めることができる。③ 本来の位置からの刺座の歪みを修正すると、ブリンチュウという種を示す螺旋方程式を求めることができる。ブリンチュウ種を表す固有の螺旋方程式は、 $r = 0.0114e^{-0.127n} \theta$ 、 $z = -0.1757n$  である。

### 1. 動機と目的

多くの植物には、規則的な配列がみられる。たとえばヒマワリの種子はフィボナッチ数列に基づいて配列しているし、荒谷ほか(2014)は、ダイオウマツの松毬の鱗片の配列が螺旋方程式に基づいていることを明らかにしている。兵庫県立姫路東高等学校科学部(2022)は、10種のサボテンの刺座の配列を測定し、そこに規則性がないかどうかを明らかにする研究を行った(前田ほか、投稿中)。これは、植物を数学的な視点から考察するものとして高い評価を受けたが、具体的な規則性を見つけることはできなかった。同じ種であっても刺座の配列は個体によって異なっていた。前田ほか(投稿中)は、① 刺座は、他の植物の葉の付き方のように一定の規則性をもたない、② 多くの植物の葉で認められ、数理モデルで示される規則性は、葉が変形して形成されたサボテンの刺座の配列には認められない、と結論付けている。規則性が認められなかった原因は、刺座の配列を座標で示さなかったことと、サボテンの形状の個体差(歪み)を修正しなかったからではないかと考えた筆者らは、本年度の研究ではブリンチュウに種を絞り、個体の歪みを補正して螺旋方程式を求めることを目的に研究を行った。

### 2. 観察方法

丸いものから縦に伸びたものまで、外形が様々に異なるブリンチュウ9個体(図1)を用いて、外形が異なっても同種であれば刺座の配列に同じ規則性があるという仮説を立てて、観察を行った。

ブリンチュウを真上から見たときの軸の中央部を基準(原点)とすると、刺座は左回りと右回りに螺旋状に配列し、共有刺座で出会いながら下方に伸びている。測定しやすいように、刺をハサミで切り取り、刺座に垂直に針を刺して、真上から見た際に刺座の位置が確認しやすいようにした(図2)。写真を撮影し、そこに方眼紙を乗せて、一本ずつ刺座の位置を求めた。

#### (1) 刺座の配列の測定方法

原点と1つ目の共有刺座(黄色)とを結ぶ線分をx軸、これに直角な線分をy軸とし、原点と1つ目



図1 さまざまな個性的な刺座の配列を持つプリンチュウ  
(A : 歪みが小、B : 歪みが大)



図2 刺座の水平面における配列の確認

の共有刺座間の距離を1として、左回りと右回りに、それぞれの刺座の位置の座標を求めた。また、サボテンを真横から見て、原点と刺座まで、あるいは刺座間の高さの差を測定し、ひとつめの共有刺座までの垂直距離を1として示した (図3)。

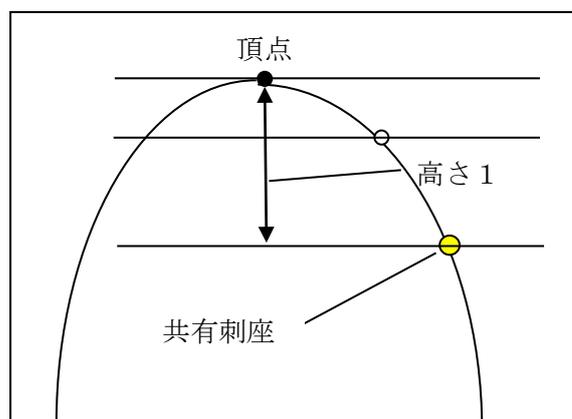
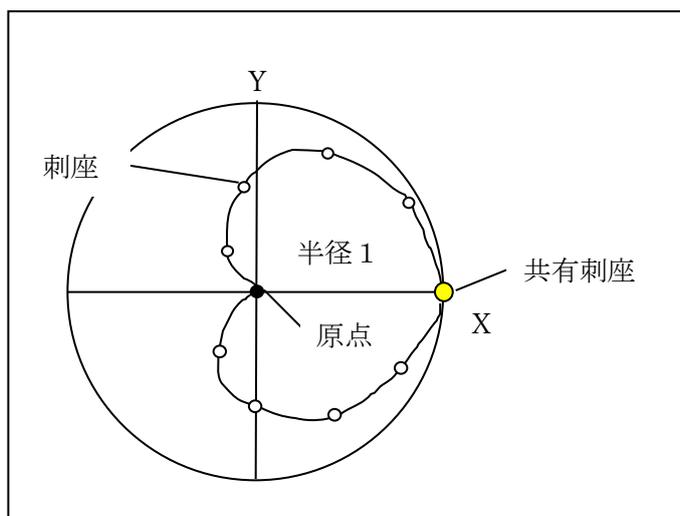


図3 刺座の配列の測定方法

(2) 螺旋方程式の求め方

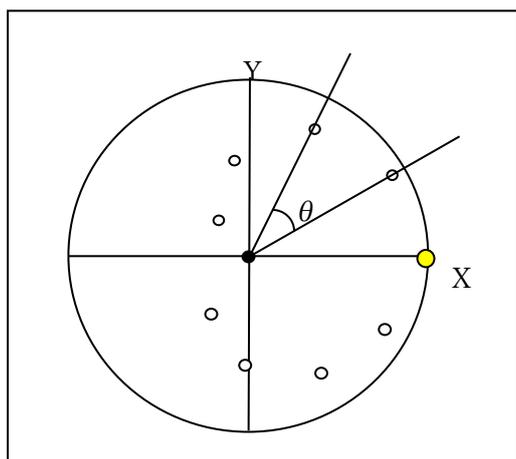


図4 刺座間の角度の測定方法

形状を客観的に比較するために、刺座の配列の螺旋方程式を求めようと試みた。真横から見た刺座間の距離 (図3) に加えて、ブリンチュウを真上から見た x-y 平面で、隣り合う刺座間の角度  $\theta$  (図4) を測定した

測定した値から、n 本目の刺座における螺旋方程式を、左回りと右回りのそれぞれで求める。x-y 平面では、半径 r、中心角  $\theta$  とすると、極方程式  $r=a\theta$ 、高さ  $z=bn$  となり、この2つを螺旋方程式という。a は r と  $\theta$  の値から求めた。b は高さの座標から求めた。

### (3) 歪みの測定方法

ブリンチュウの頂点を原点として、原点と第1刺座を結ぶ直線を引き、それを下方に延長する (図5)。第2刺座以降、この直線から左右にずれがある場合、左右のずれの距離 (mm) を測定して、実際の刺座の位置をその長さだけ水平方向に移動させ、これを本来の理想的な配置とした。

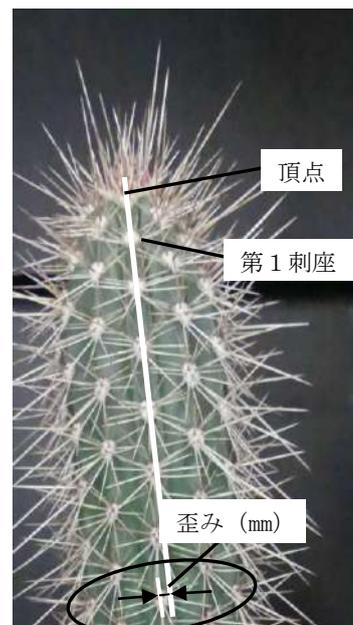


図5 歪みの測定方法

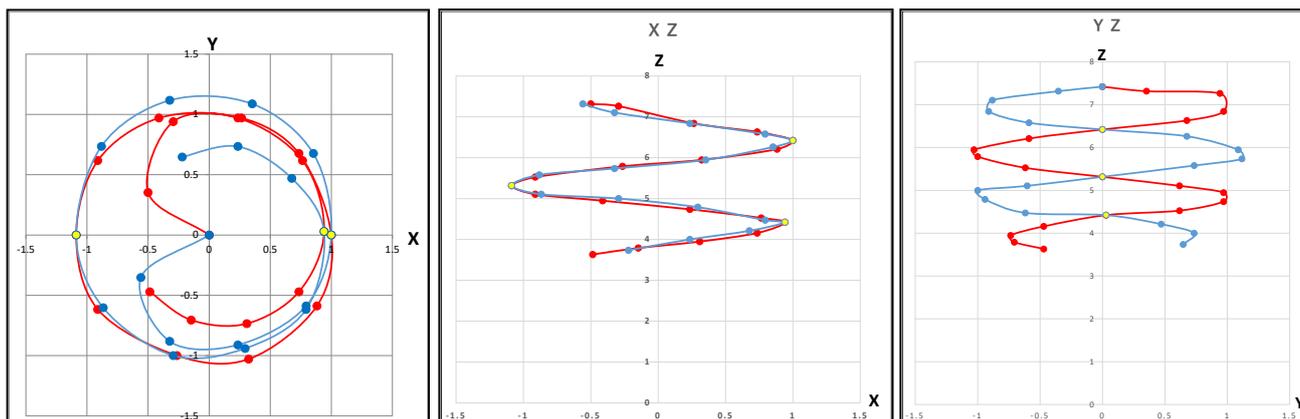
## 3. 結果

以下の図6～図15に、ブリンチュウを上から見た時の、左回りと右回りの刺座の配列を示す。頂点と第1共有刺座を結ぶ線を x 軸とし、黄色は共有刺座を示す。さらに、横から見た x-z 軸方向と y-z 軸方向の刺座の配列、左回り n 番目の刺座 a の値、右回り n 番目の a の値、左回り n 番目の刺座の高さ b、右回りの b を示す。測定値は巻末に資料としてまとめて示す。

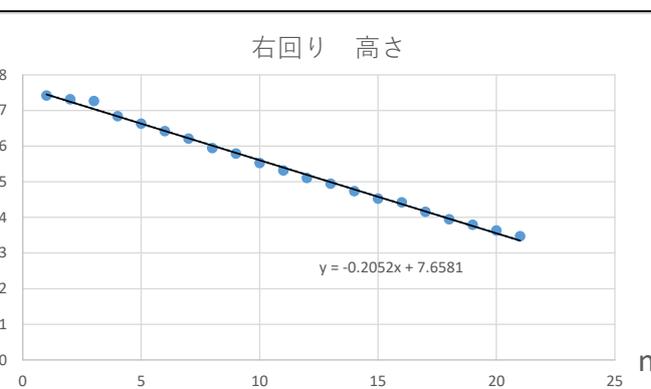
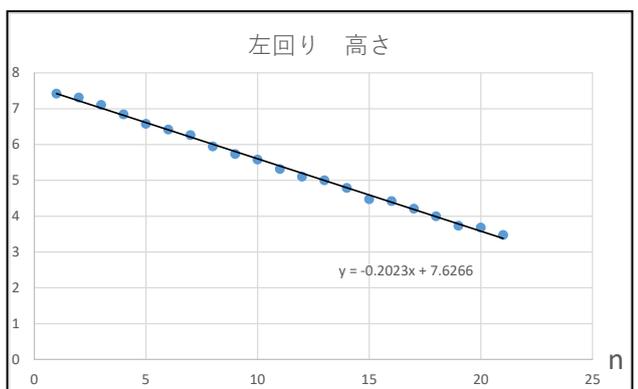
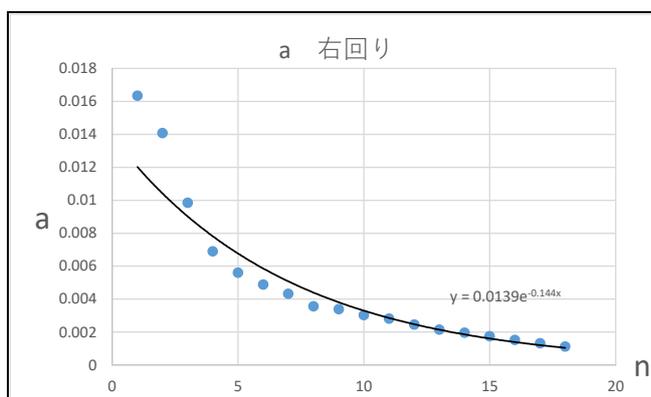
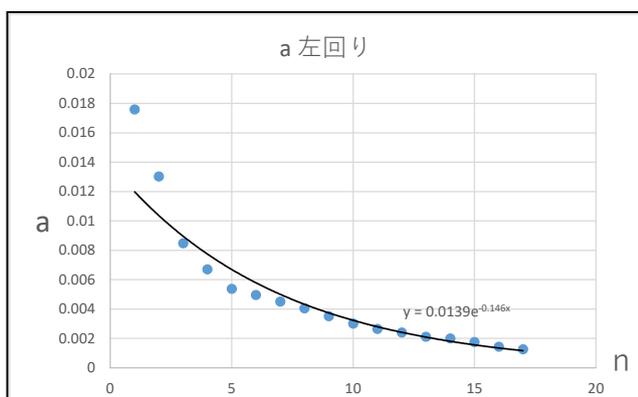
### (1) ブリンチュウ1 (図6)



$$\begin{aligned} \text{左回り } a &= 0.0139e^{-0.146n} \\ b &= -0.2023n \\ \text{右回り } a &= 0.0139e^{-0.144n} \\ b &= -0.2052n \end{aligned}$$



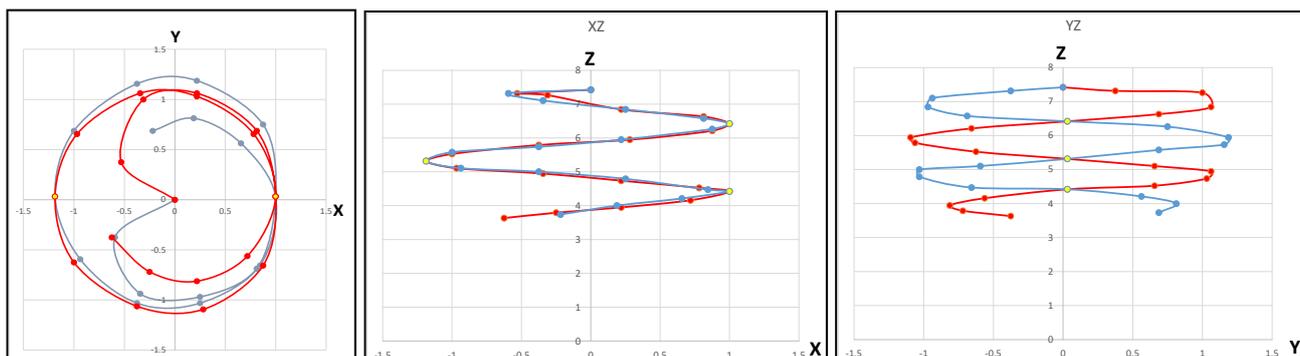
※ 赤は右回りの刺座の配列、青は左回りの刺座の配列を示す。

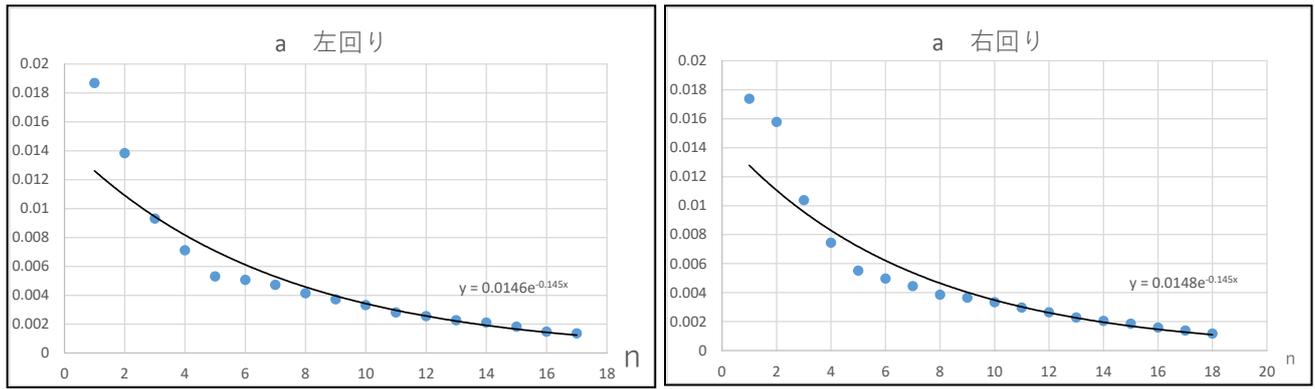


ブリンチュウ1の刺座の配列の歪みを修正すると、以下の通りになる。修正は、それぞれの刺座のサポテンの頂点から第1刺座を結ぶ直線からの左右のずれを修正して、本来の刺座の位置と考えられる位置に水平に移動させた。

左回り  $a = 0.0146e^{-0.145n}$

右回り  $a = 0.0148e^{-0.145n}$

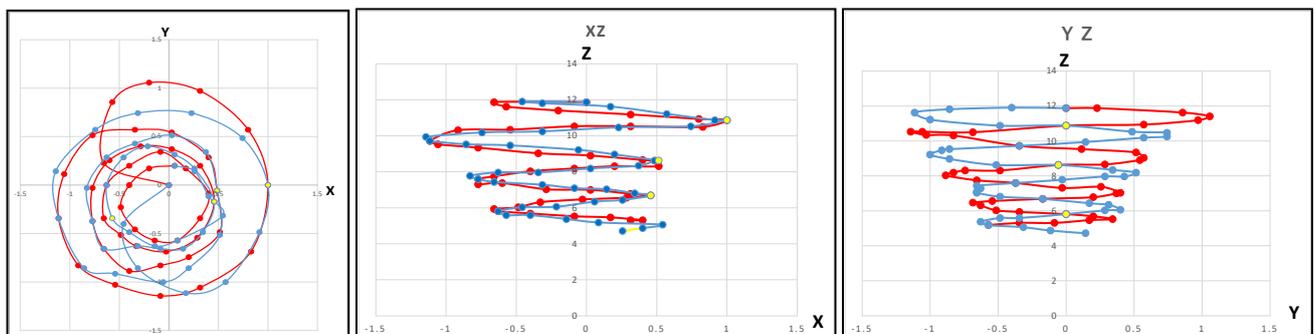




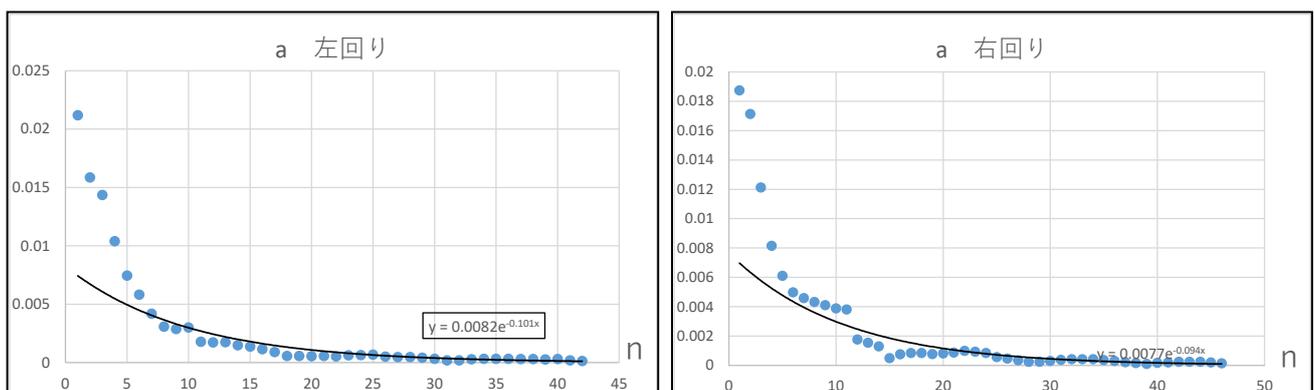
(2) ブリンチュウ 2 (図7)

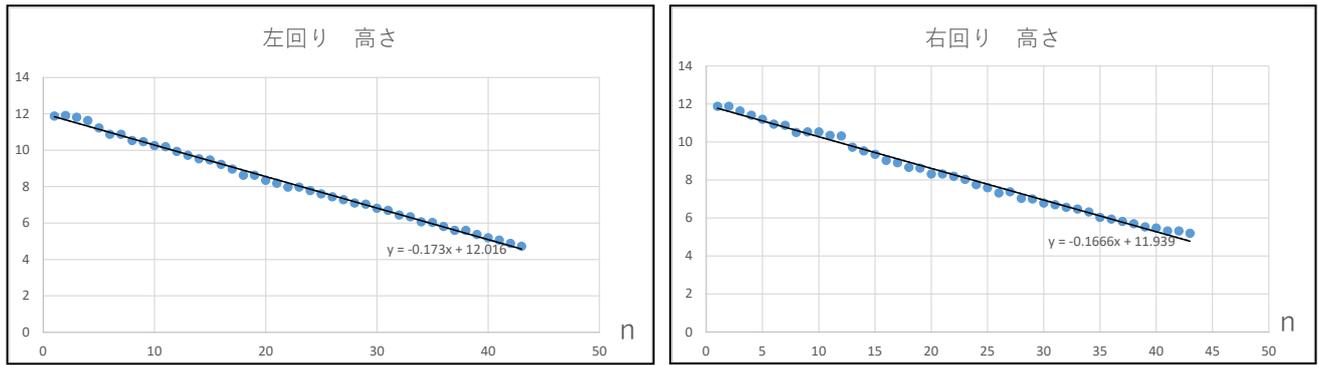


左回り  $a = 0.0082e^{-0.101n}$   
 $b = -0.1730n$   
 右回り  $a = 0.0077e^{-0.094n}$   
 $b = -0.1666n$



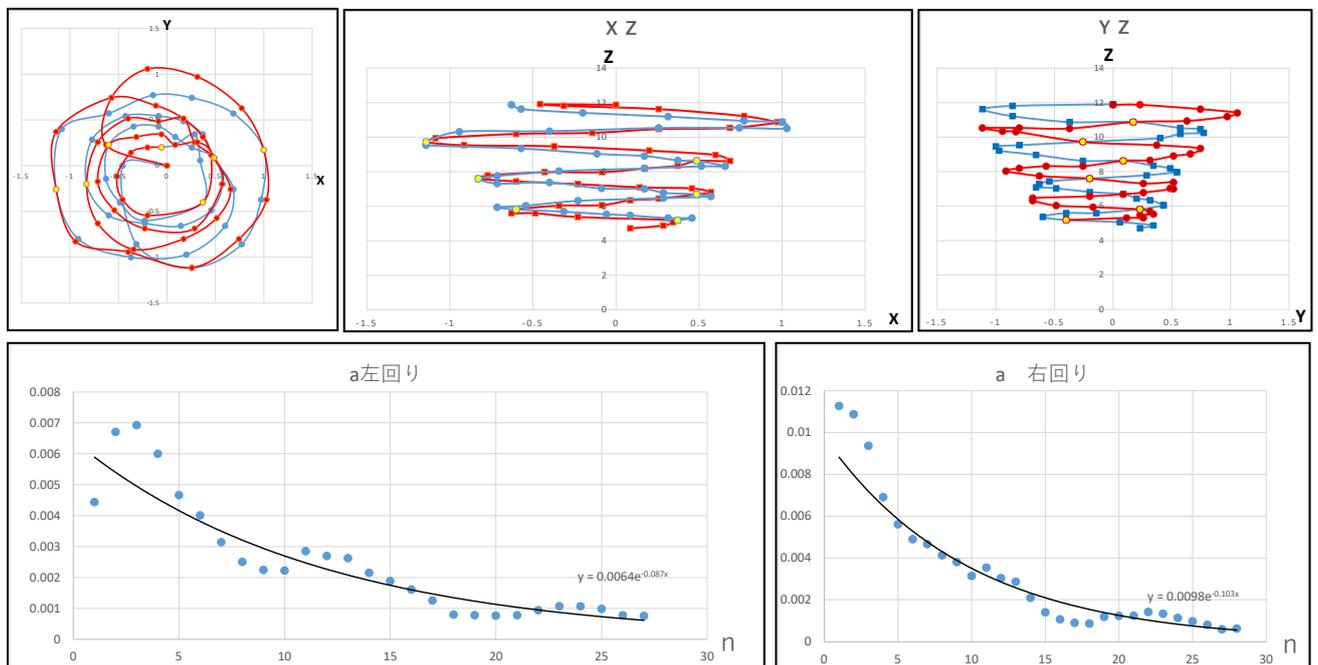
※ 赤は右回りの刺座の配列、青は左回りの刺座の配列を示す。





プリンチュウ2の刺座の配列の歪みを修正すると、以下のようになる。

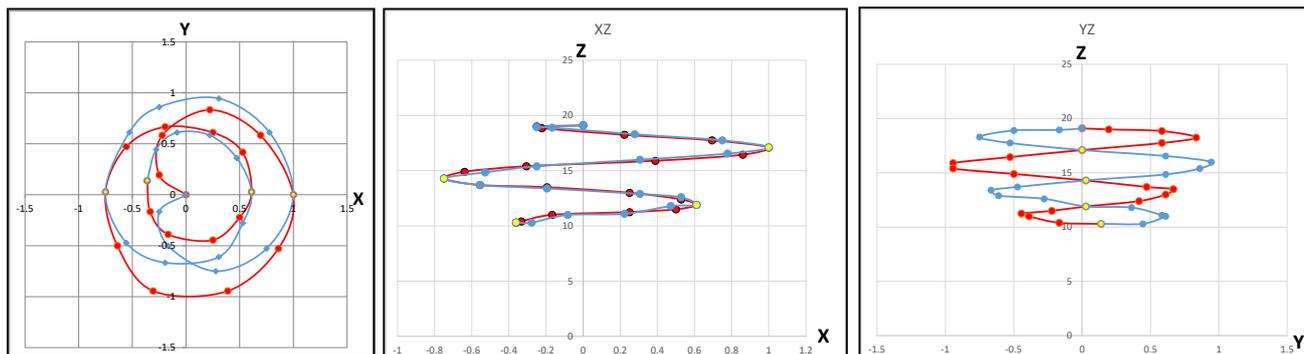
左回り  $a = 0.0064e^{-0.087n}$       右回り  $a = 0.0098e^{-0.103n}$



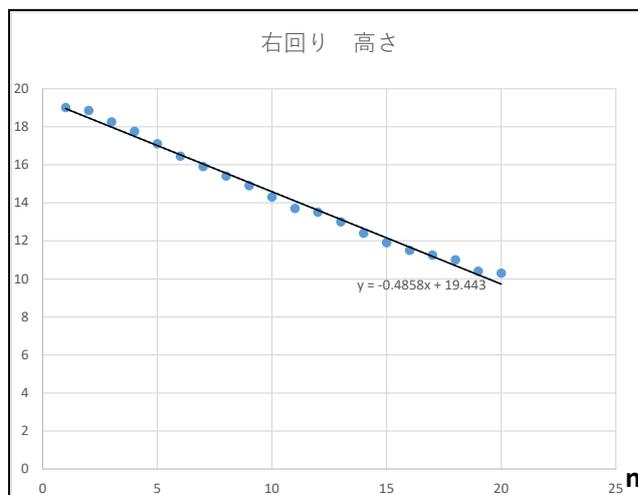
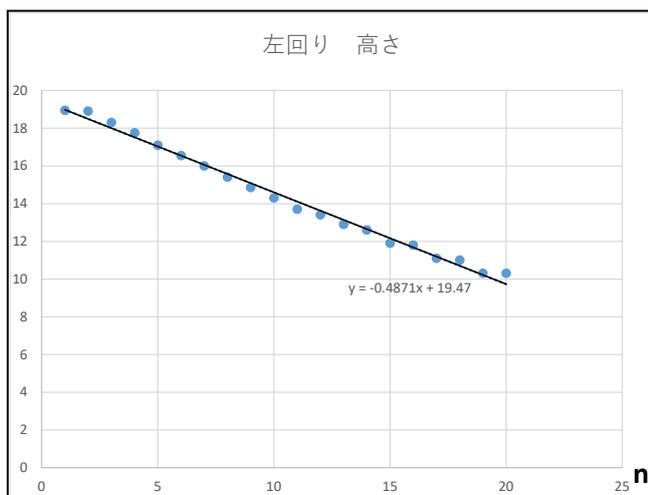
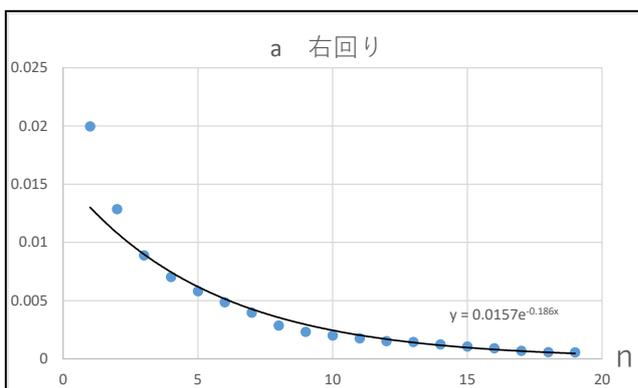
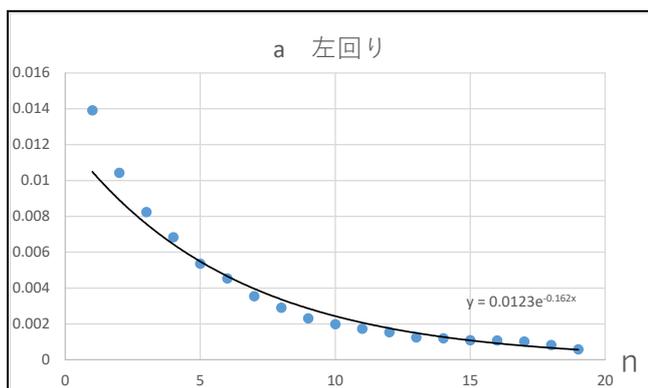
(3) プリンチュウ3 (図8)



左回り :  $a = 0.0123e^{-0.162n}$   
 $b = -0.4871n$   
 右回り :  $a = 0.0157e^{-0.186n}$   
 $b = -0.4858n$



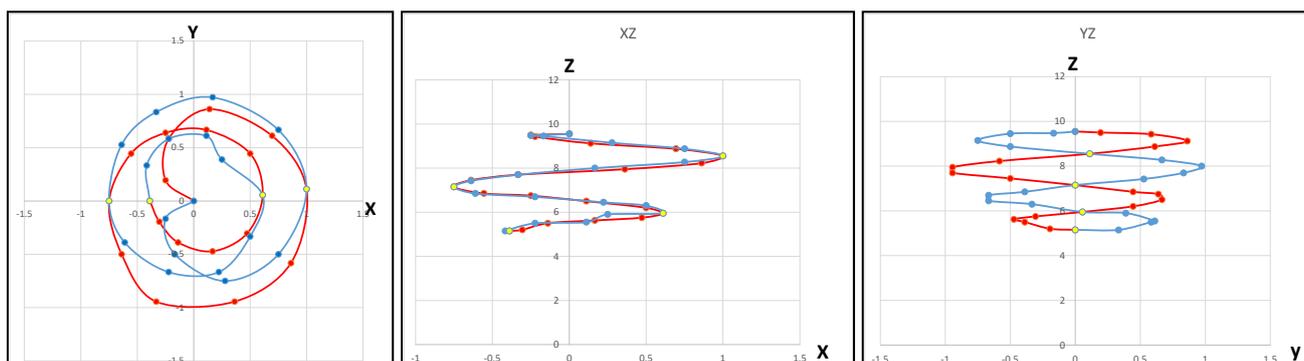
※ 赤は右回りの刺座の配列、青は左回りの刺座の配列を示す。

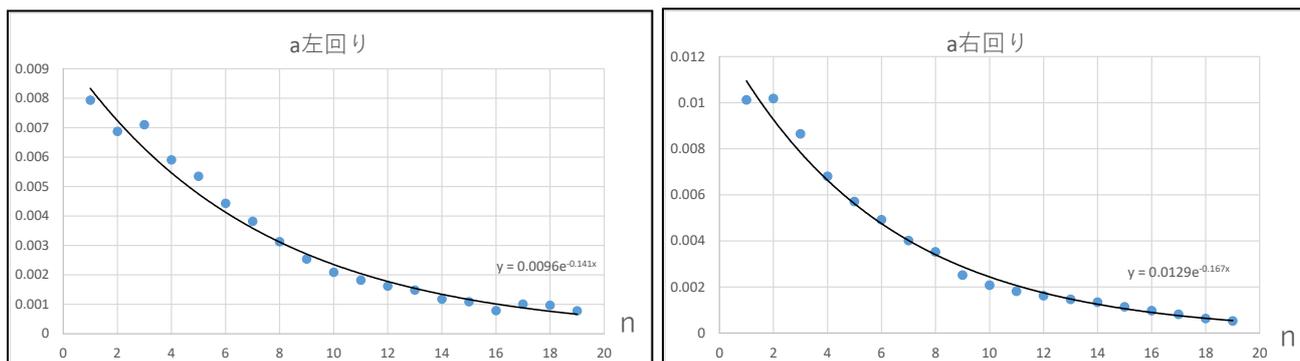


ブリンチュウ3の刺座の配列の歪みを修正すると、以下のようになる。

左回り  $a = 0.0096e^{-0.141n}$

右回り  $a = 0.0129e^{-0.16n}$

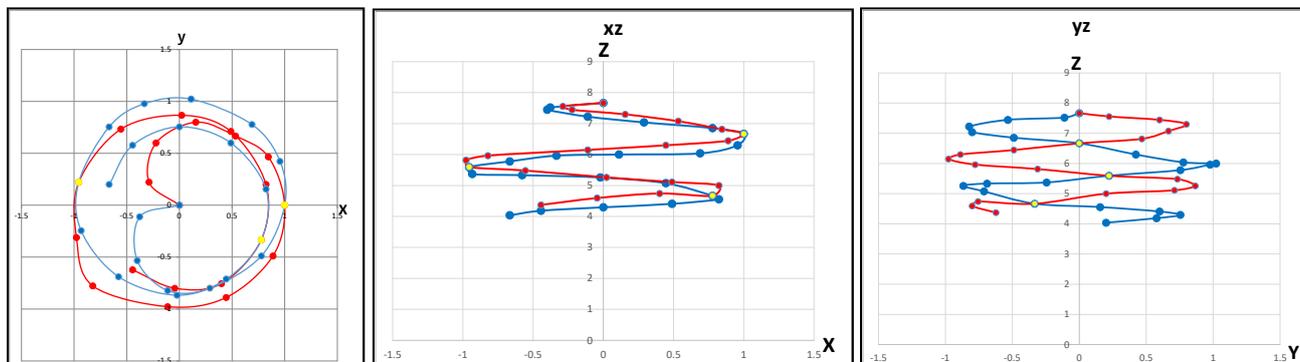




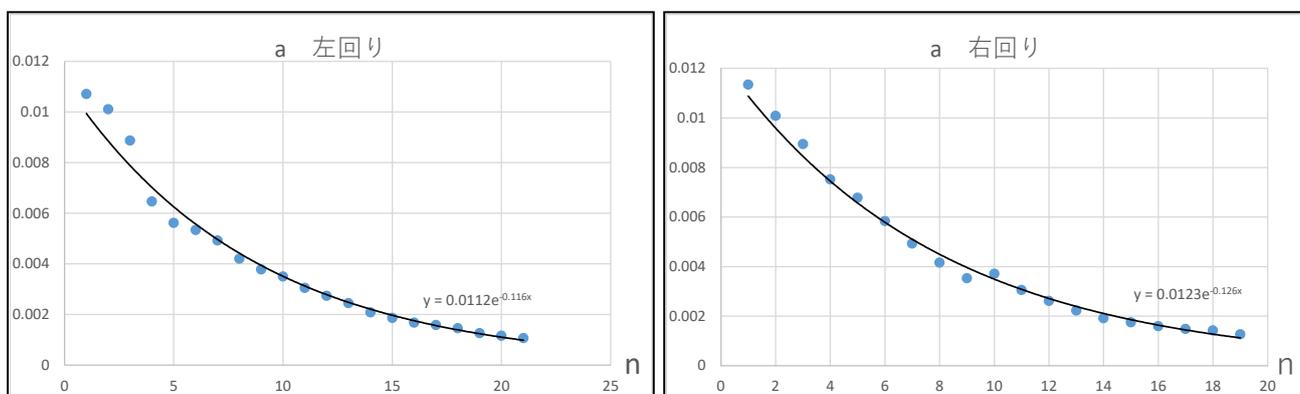
(4) プリンチュウ4 (図9)

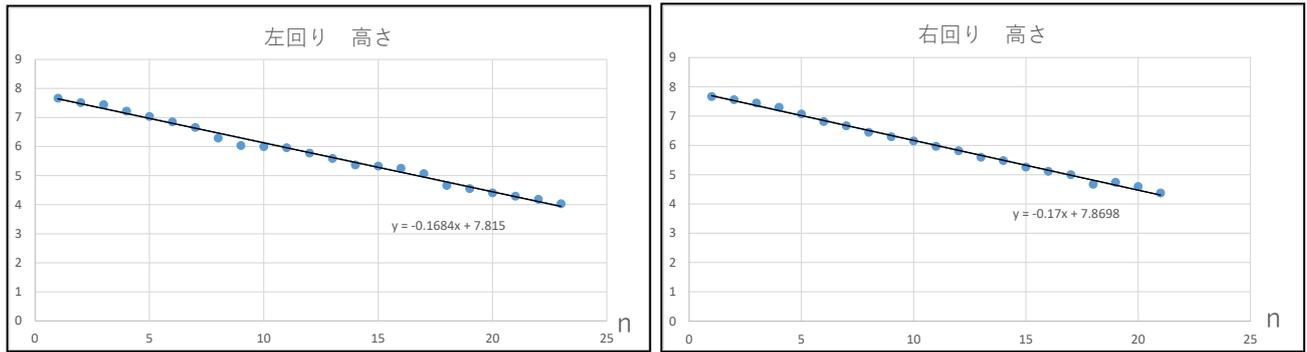


左回り :  $a=0.0112e^{-0.116n}$   
 $b=-0.1684n$   
 右回り :  $a=0.0123e^{-0.126n}$   
 $b=-0.1700n$



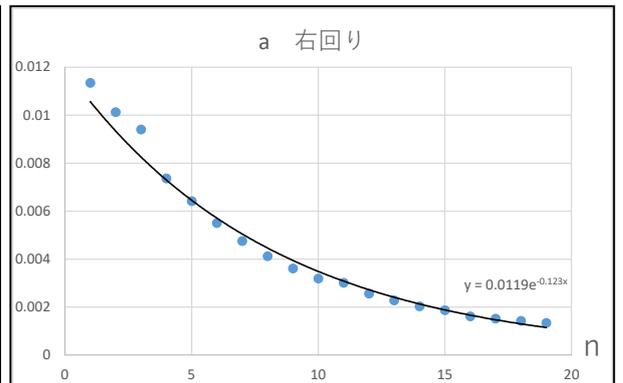
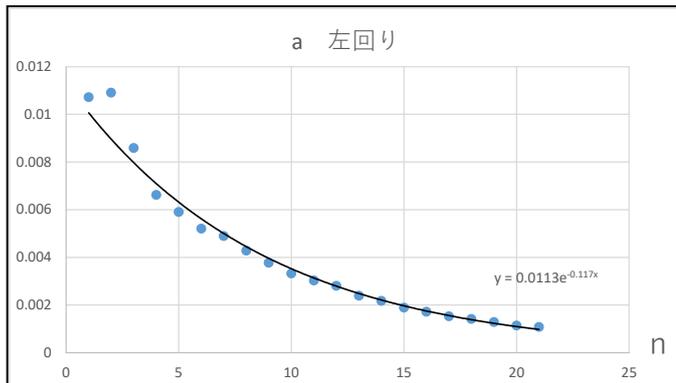
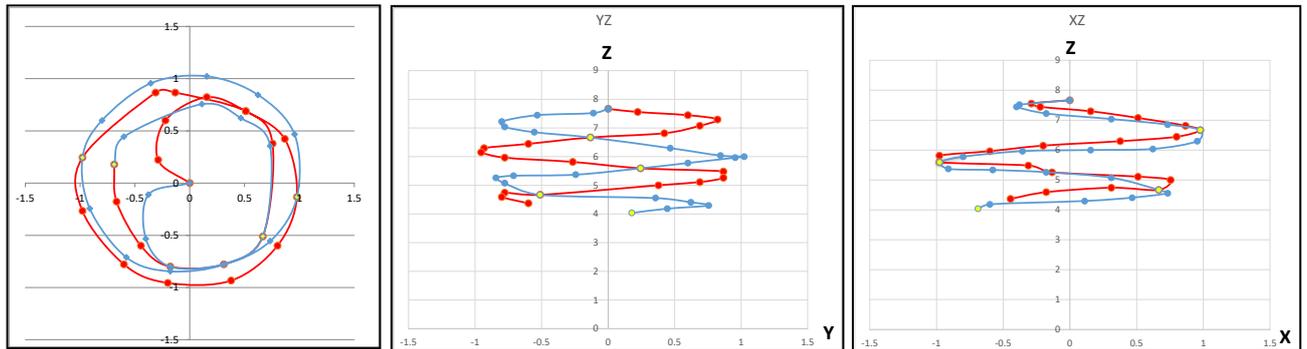
※ 赤は右回りの刺座の配列、青は左回りの刺座の配列を示す。





ブリンチュウ4の刺座の配列の歪みを修正すると、次のようになる。

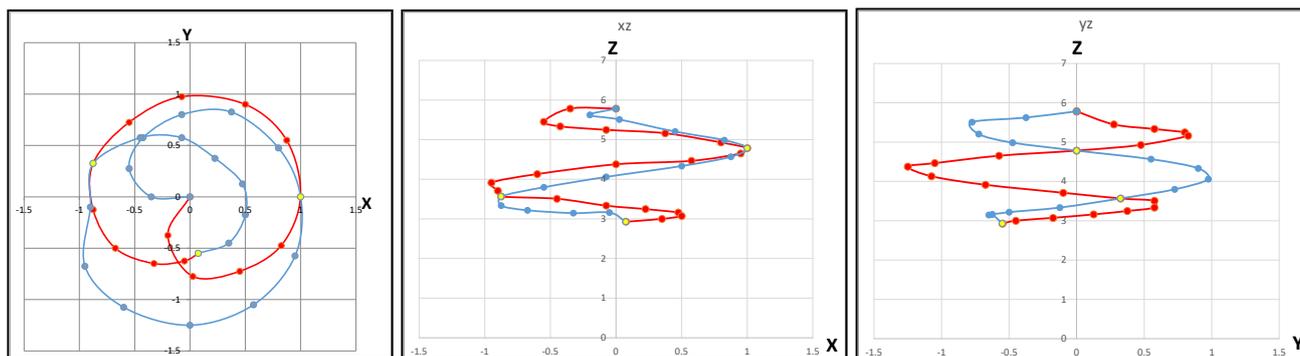
左回り :  $a = 0.0113e^{-0.117n}$       右回り :  $a = 0.0119e^{-0.123n}$



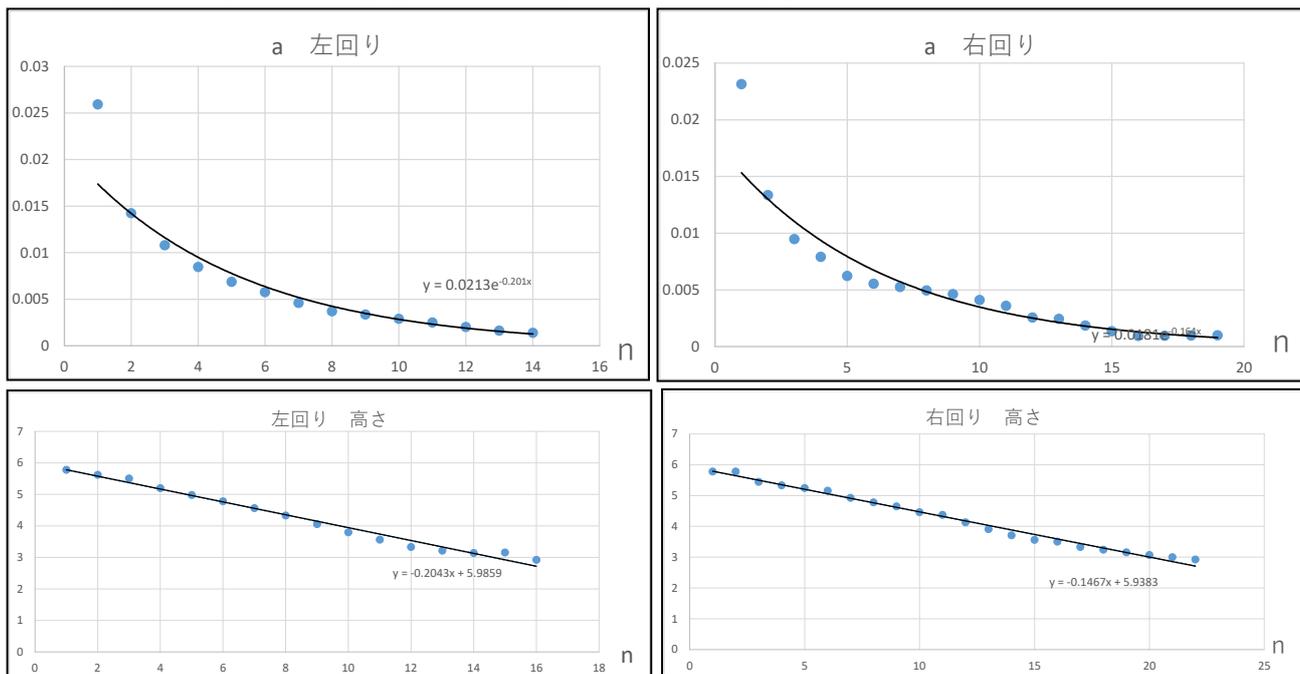
(5) ブリンチュウ5 (図10)



左回り :  $a = 0.0213e^{-0.201n}$   
 $b = -0.2043n$   
 右回り :  $a = 0.0181e^{-0.164n}$   
 $b = -0.1467n$



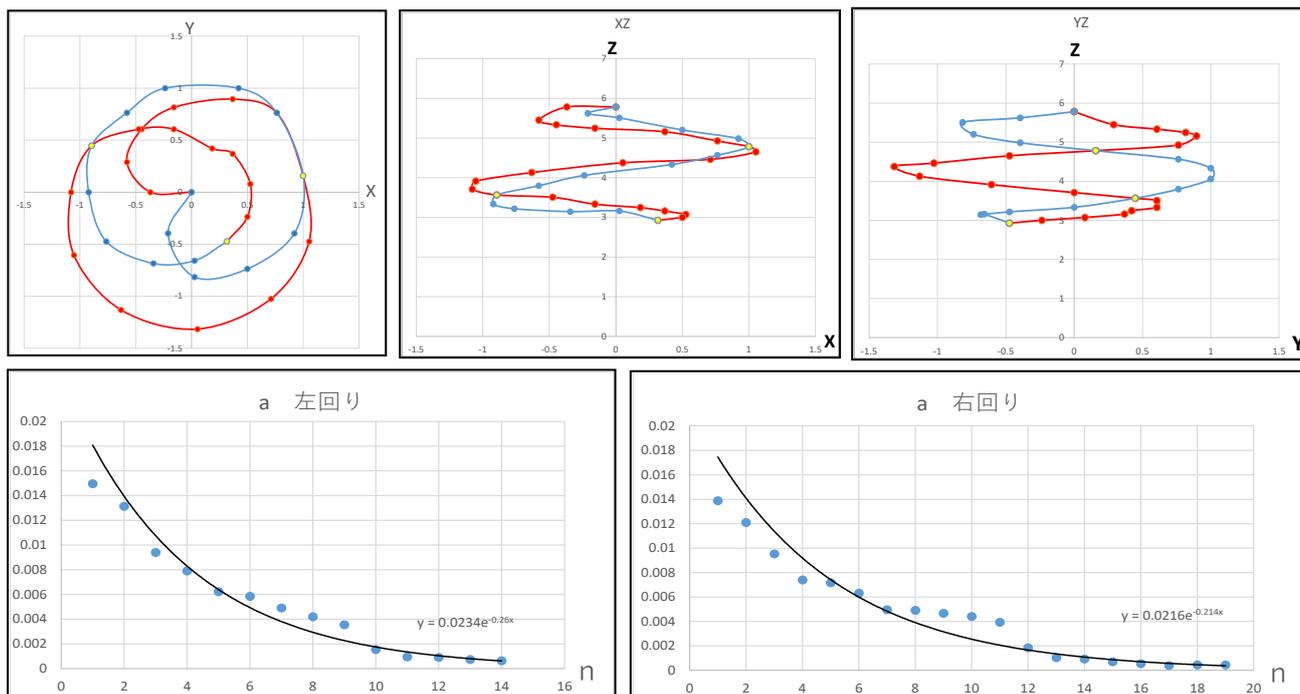
※ 赤は右回りの刺座の配列、青は左回りの刺座の配列を示す。



ブリンチュウ5の刺座の配列の歪みを修正すると、次のようになる。

左回り :  $a = 0.0234e^{-0.26n}$

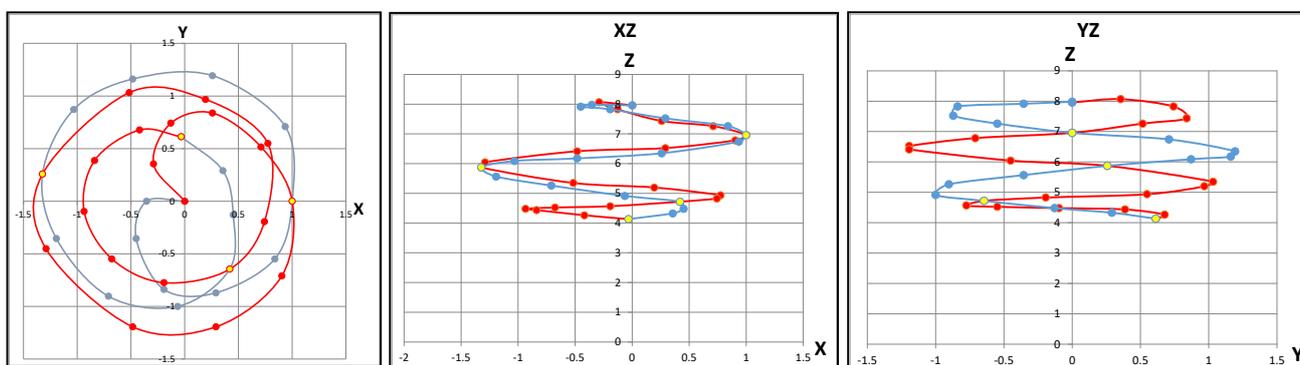
右回り :  $a = 0.0216e^{-0.214n}$



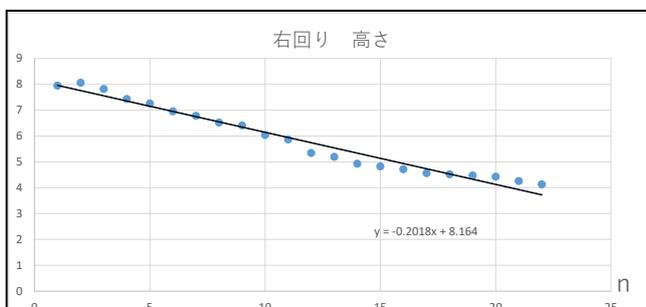
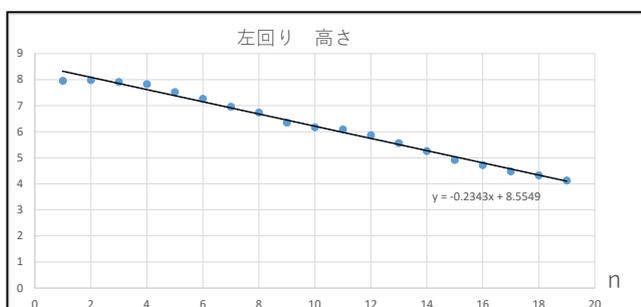
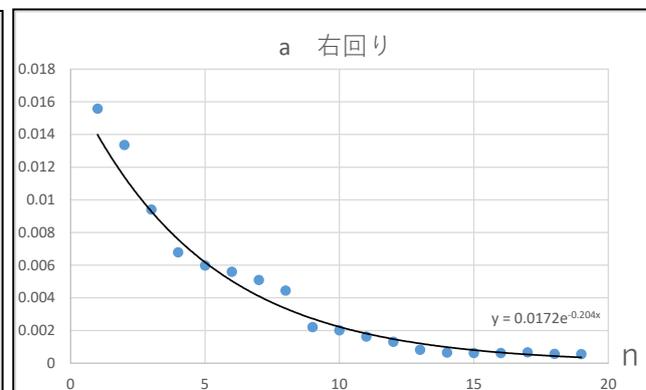
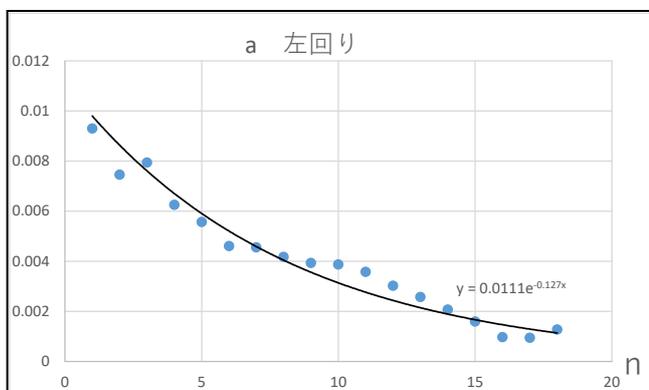
(6) ブリンチュウ6 (図10)



左回り :  $a=0.0111e^{-0.127n}$   
 $b=-0.2343n$   
 右回り :  $a=0.0172e^{-0.204n}$   
 $b=-0.2018n$

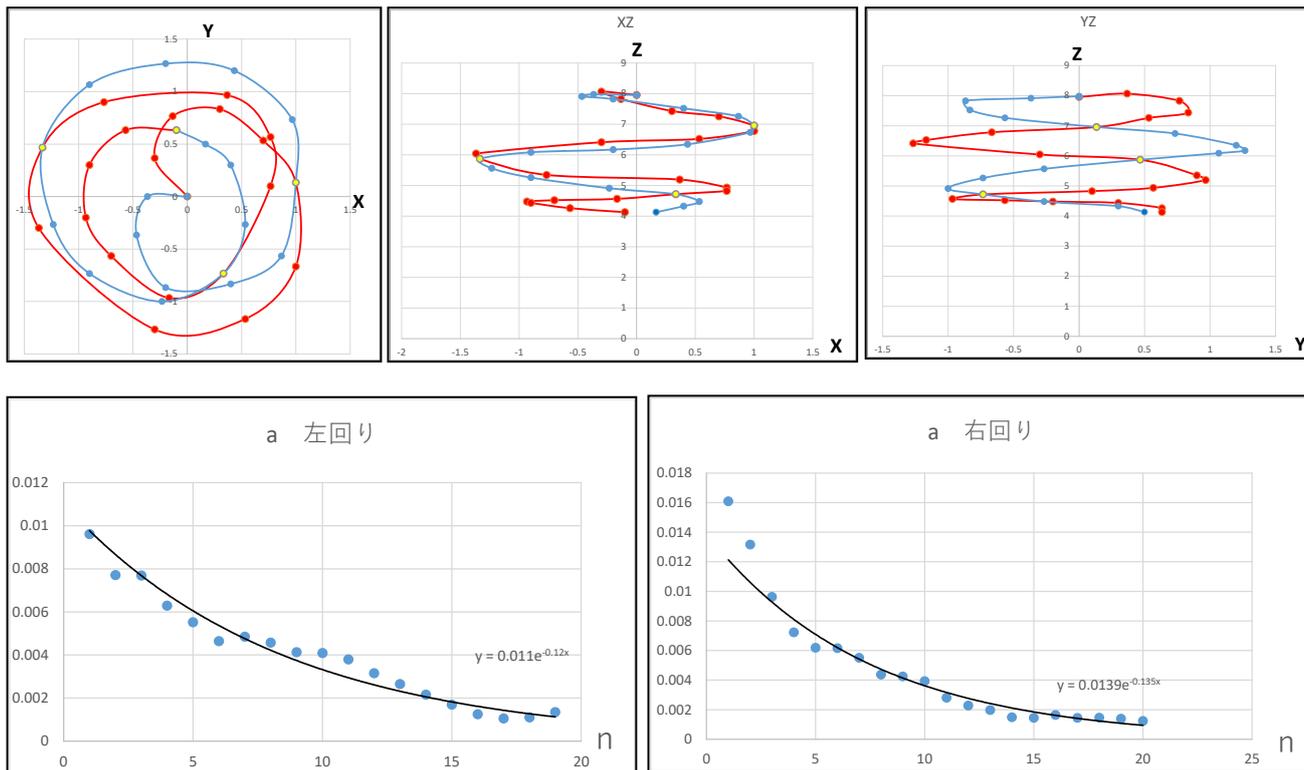


※ 赤は右回りの刺座の配列、青は左回りの刺座の配列を示す。



ブリンチュウ6の刺座の配列の歪みを修正した結果は、次のとおりである。

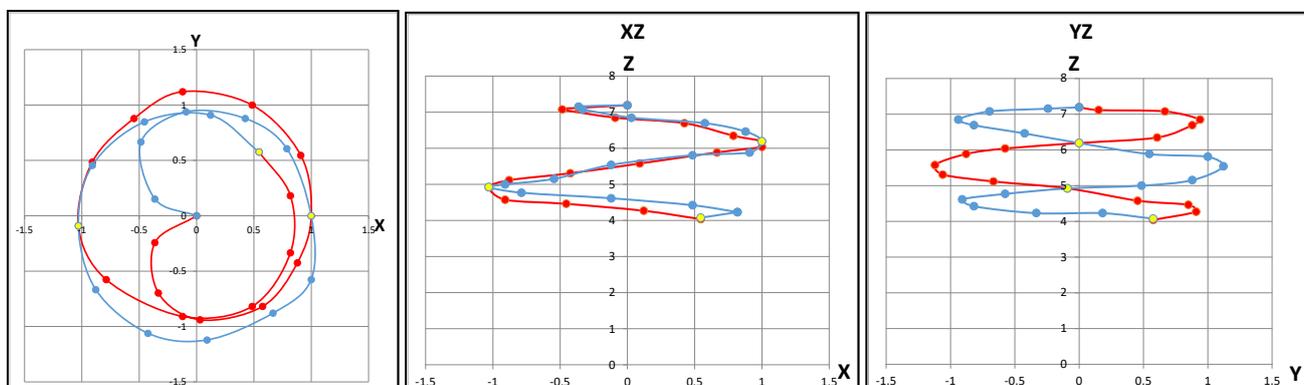
左回り :  $a=0.011e^{-0.120n}$       右回り :  $a=0.0139e^{-0.135n}$



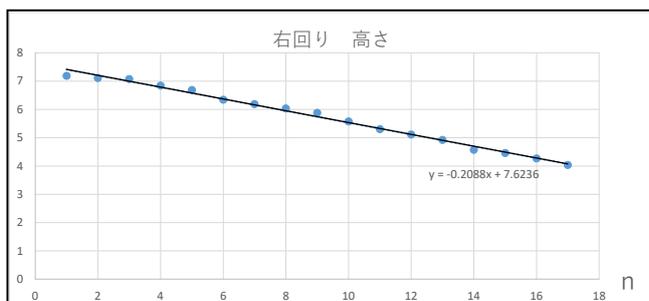
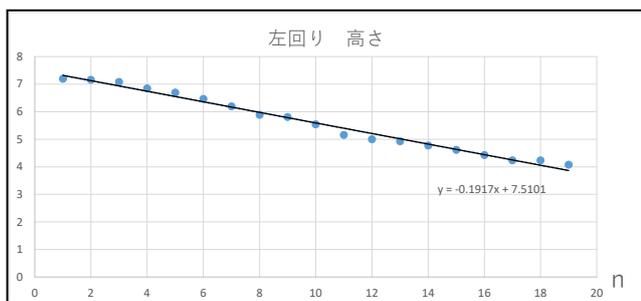
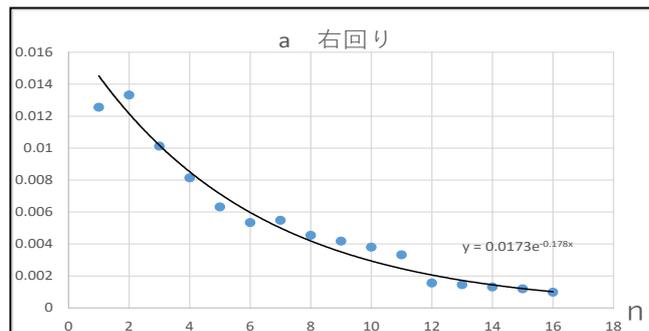
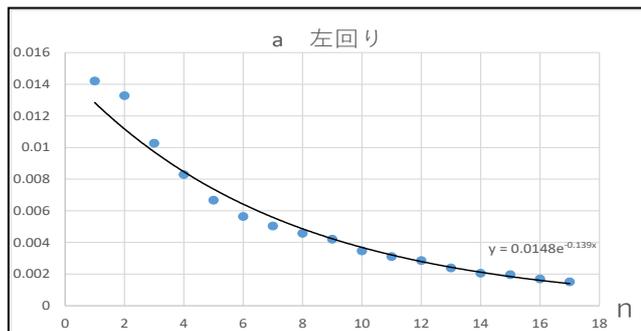
(7) ブリンチュウ7 (図 12)



左回り :  $a=0.0148e^{-0.139n}$   
 $b=-0.1917n$   
 右回り :  $a=0.0173e^{-0.178n}$   
 $b=-0.2088n$



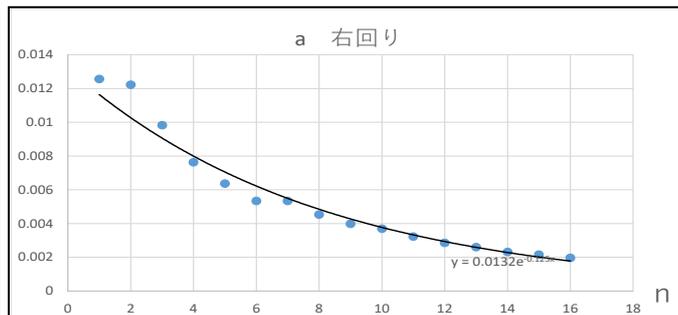
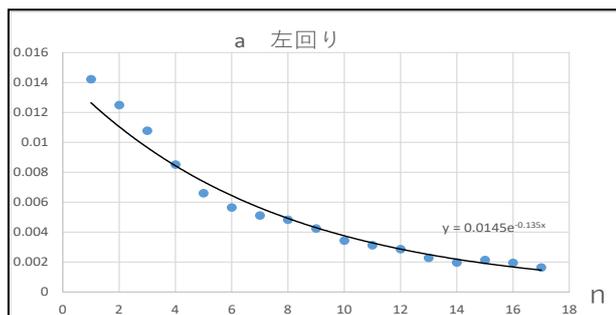
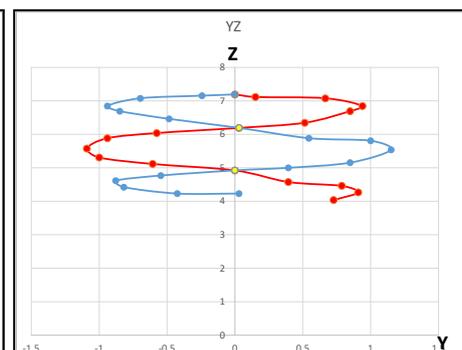
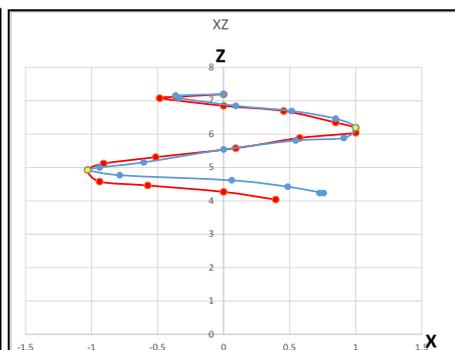
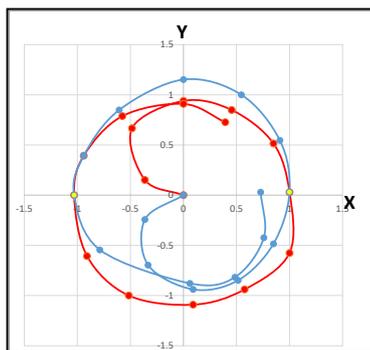
※ 赤は右回りの刺座の配列、青は左回りの刺座の配列を示す。



ブリンチュウ7の刺座の配列の歪みを修正すると、次のとおりになる。

左回り :  $a = 0.0145e^{-0.135n}$

右回り :  $a = 0.0132e^{-0.125n}$



8

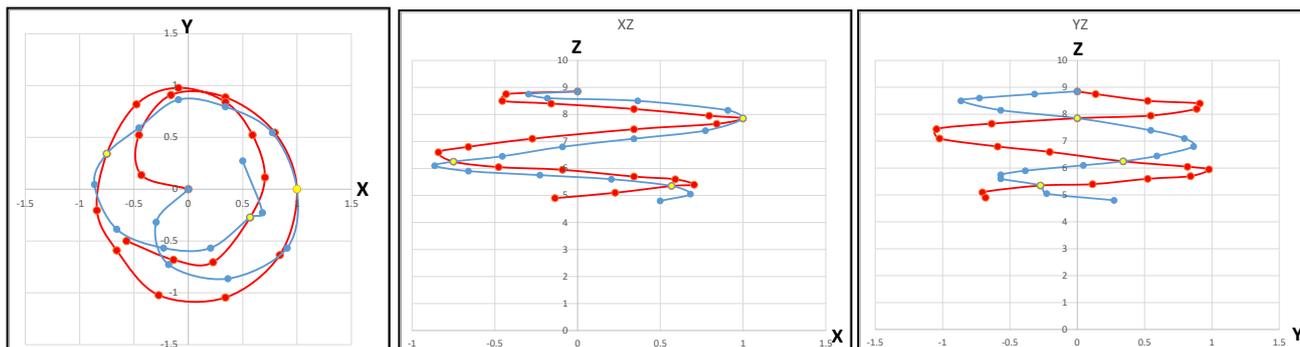
(8) ブリンチュウ8 (図13)

左回り :  $a = 0.0222e^{-0.271n}$

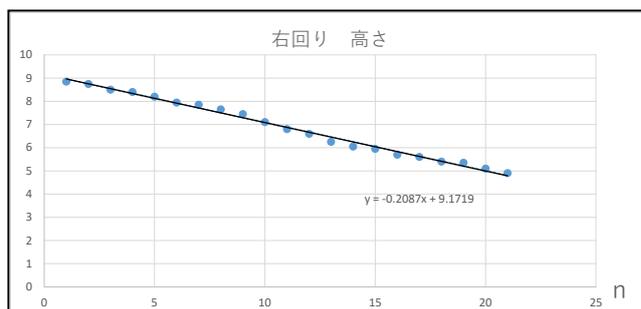
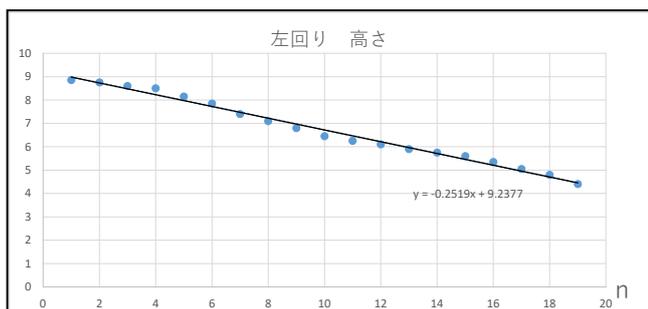
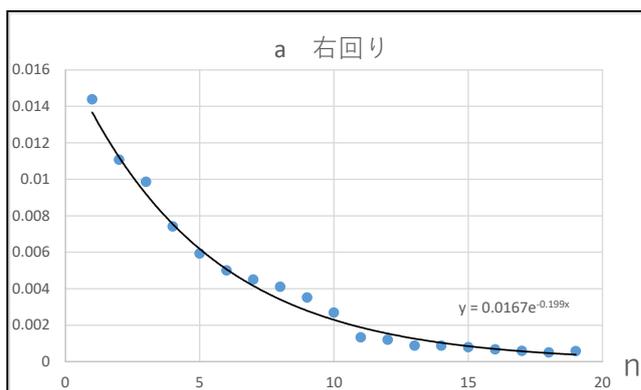
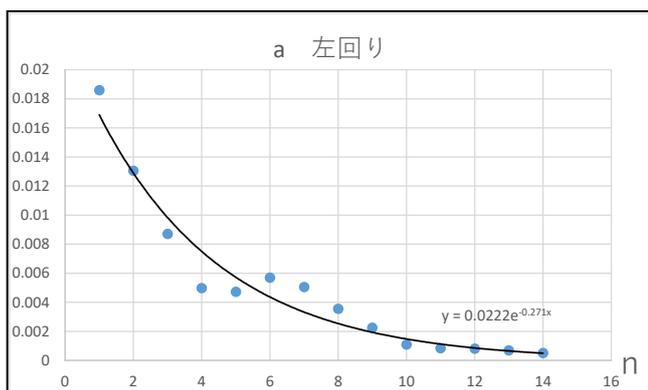
$b = -0.2519n$

右回り :  $a = 0.0167e^{-0.199n}$

$b = -0.2087n$



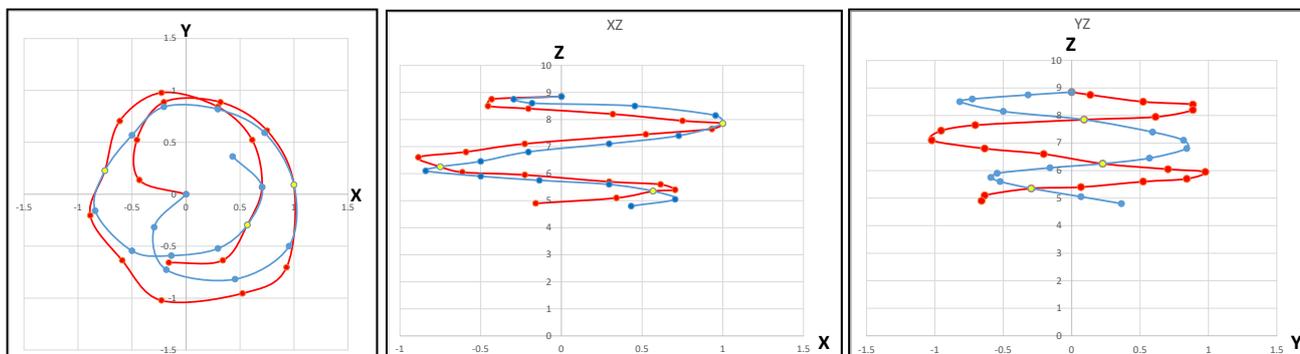
※ 赤は右回りの刺座の配列、青は左回りの刺座の配列を示す。

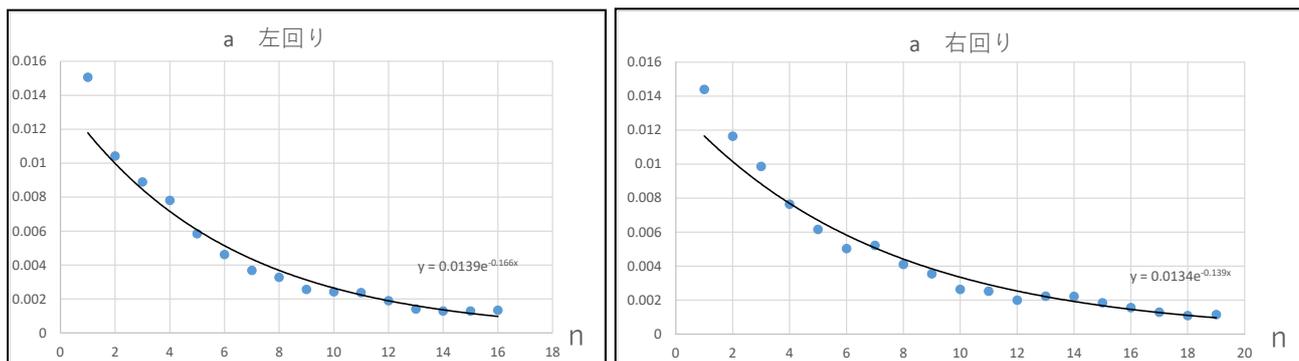


プリンチュウ8の刺座の配列の歪みを修正すると、次のようになる。

左回り :  $a = 0.0139e^{-0.166n}$

右回り :  $a = 0.0134e^{-0.139n}$





#### 4. 考察

サボテンの刺は、乾燥した環境に適応するために葉が変化したものであり、他の植物にも見られるように螺旋を描いて配列しているように見えるが、これまでそれを明らかにした先行研究はなかった。筆者らはブリンチュウを試料として用いて、ブリンチュウの刺座の配列を測定した。同一個体の外見が乾燥（水分量）や成長（個体の大きさ）によって変化しても、刺座の配列の位置関係は変わらない（前田ほか, 投稿中）。

ブリンチュウには、さまざまに個性的な外見のものがあるが、筆者らは以下について明らかにした。

- ① ブリンチュウの刺座は、上方中央から下方に向かって、左回りと右回りに螺旋を描いて、共有刺座で出会いながら配列している。
- ② 歪みの多少にかかわらず、ブリンチュウの刺座配列の螺旋方程式を求めることができたが、その a や b の値はばらついている（表1）。

表1 ブリンチュウ試料1～9の螺旋方程式における n 本目の a と b

	測定値	修正値		測定値	修正値
ブリンチュウ1	左回り $a = 0.0139e^{-0.146n}$ $b = -0.2023$	$a = 0.0146e^{-0.145n}$	ブリンチュウ5	左回り $a = 0.0213e^{-0.201n}$ $b = -0.2043$	$a = 0.0234e^{-0.260n}$
	右回り $a = 0.0139e^{-0.144n}$ $b = -0.2052$	$a = 0.0148e^{-0.145n}$		右回り $a = 0.0181e^{-0.164}$ $b = -0.1467$	$a = 0.0216e^{-0.214n}$
ブリンチュウ2	左回り $a = 0.0082e^{-0.101n}$ $b = -0.1730$	$a = 0.0064e^{-0.087n}$	ブリンチュウ6	左回り $a = 0.0111e^{-0.127n}$ $b = -0.2343$	$a = 0.011e^{-0.120n}$
	右回り $a = 0.0077e^{-0.094n}$ $b = -0.1666$	$a = 0.0098e^{-0.103n}$		右回り $a = 0.0172e^{-0.204n}$ $b = -0.2018$	$a = 0.0139e^{-0.135n}$
ブリンチュウ3	左回り $a = 0.0123e^{-0.162n}$ $b = -0.4871$	$a = 0.0096e^{-0.141n}$	ブリンチュウ7	左回り $a = 0.0148e^{-0.139n}$ $b = -0.1917$	$a = 0.0145e^{-0.135n}$
	右回り $a = 0.0157e^{-0.162n}$ $b = -0.4858$	$a = 0.0129e^{-0.160n}$		右回り $a = 0.0173e^{-0.178n}$ $b = -0.2088$	$a = 0.0132e^{-0.125n}$
ブリンチュウ4	左回り $a = 0.0112e^{-0.116n}$ $b = -0.1684$	$a = 0.0113e^{-0.117n}$	ブリンチュウ8	左回り $a = 0.0222e^{-0.271n}$ $b = -0.2519$	$a = 0.0139e^{-0.166n}$
	右回り $a = 0.0123e^{-0.126n}$ $b = -0.1700$	$a = 0.0119e^{-0.123n}$		右回り $a = 0.0167e^{-0.199n}$ $b = -0.2087$	$a = 0.0134e^{-0.139n}$

③ 刺座の歪みを、個体が歪んでいなければ本来その場所にあったであろうと考えられる位置に水平方向に修正すると、中心角  $\theta$  の値が変化し、 $a$  の値も連動して変化し、個体間の誤差が小さくなる (表 1)。 $a$  は  $n=1$ 、ネイピア数  $e=2.71828$ 、 $b$  は  $n=1$  のときの数値を求めても、ばらついていた 8 個体の実測値よりも、8 個体間の誤差が小さくなり、類似した  $a$  および  $b$  をもつ螺旋方程式になることがわかる (表 2、図 14)。

表 2 実測値と、歪みを修正した  $a$  と  $b$  の値 ( $n=1$  の場合の値で比較)

	プリンチュウ1	プリンチュウ2	プリンチュウ3	プリンチュウ4	プリンチュウ5	プリンチュウ6	プリンチュウ7	プリンチュウ8
左回りa	0.0120	0.0074	0.0105	0.0100	0.0174	0.0098	0.0129	0.0169
左回りb	-0.2023	-0.1730	-0.4871	-0.1684	-0.2043	-0.2343	-0.1917	-0.2519
右回りa	0.0120	0.0070	0.0130	0.0108	0.0154	0.0140	0.0145	0.0137
右回りb	-0.2052	-0.1666	-0.4858	-0.1700	-0.1467	-0.2018	-0.2088	-0.2087
歪み (mm)	2.84	3.59	1.16	1.71	5.69	3.15	1.7	2.84
左回り修正a	0.0126	0.0059	0.0083	0.0101	0.0180	0.0098	0.0127	0.0118
右回り修正a	0.0128	0.0088	0.0110	0.0105	0.0174	0.0121	0.0116	0.0117

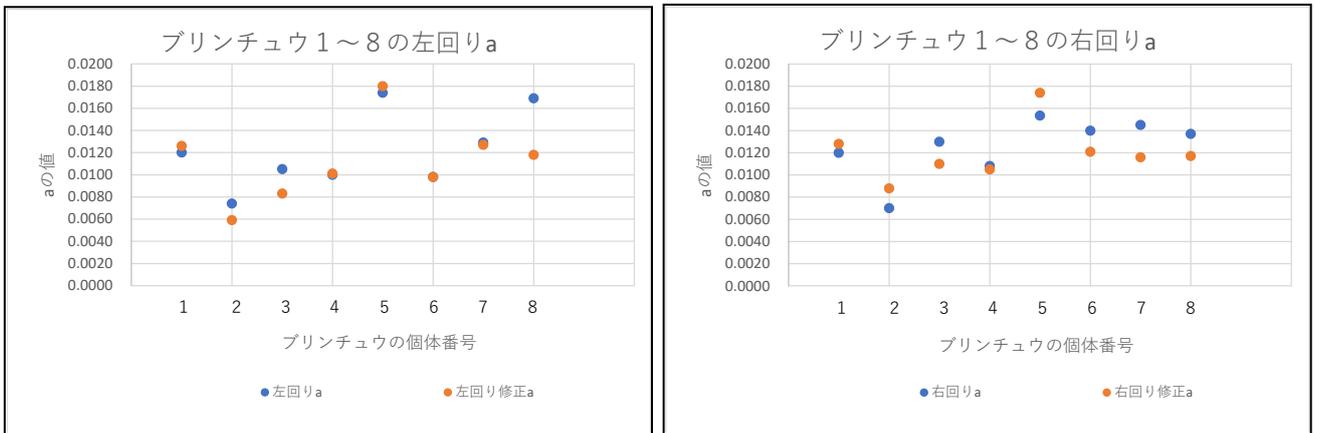


図 14 歪みを修正する前後のプリンチュウの螺旋方程式の  $a$  の値

④ 試料として用いたすべてのプリンチュウの、歪みを修正した左回りと右回りの刺座の座標  $a$  と  $b$  をすべてまとめて図 15 に示した。 $a$ 、 $b$  ともによく似た傾向を示す。 $a$  の近似曲線および  $b$  の近似直線を引くと、 $a=0.0114e^{-0.119n}$ 、 $b=-0.2007$  となる。

このことから、プリンチュウ種を表す螺旋方程式は、以下のように表すことができる。

$$r = 0.0107e^{-0.127n} \theta \quad z = -0.1757n$$

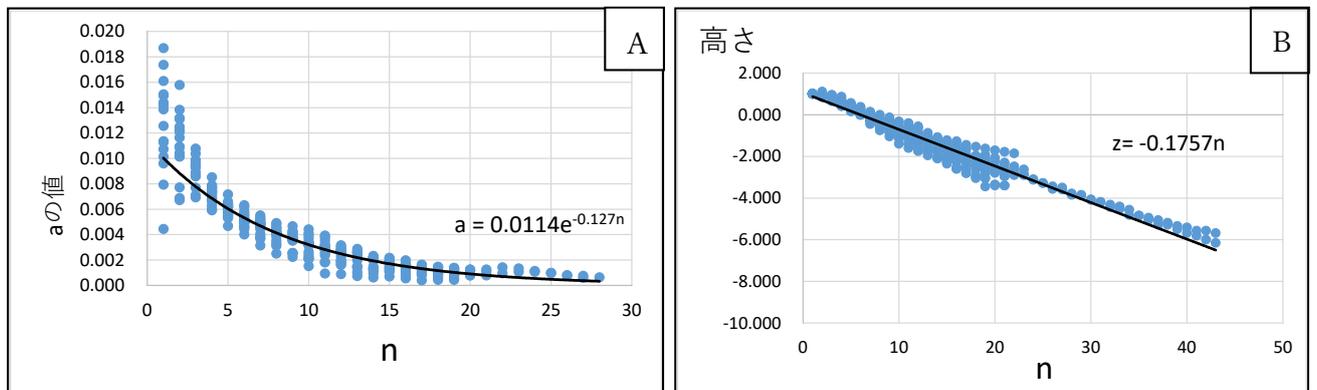


図 15 すべてのプリンチュウの、歪みを修正した左回りと右回りの刺座の座標  $a$  (図 A) と  $b$  (図 B)

## 6. 今後の課題

本研究では、歪み指数を用いて配列を修正すれば、歪んだ個体でもブリンチュウを示す螺旋方程式を求めることができた。他のサボテン種でも同様の研究をおこない、比較をすることによって、今回の螺旋方程式の a と b がブリンチュウという種を表すものかどうかについて検証しなければならない。さらに今後は、さまざまなサボテンの種の螺旋方程式を求め、系統樹上の距離との関係の有無についても明らかにしていきたい。

## 7. 謝辞

本研究を行うにあたり、国立科学博物館筑波実験植物園と本校科学部顧問の川勝和哉主幹教諭には、有意義な議論をしていただいた。ここに記して謝意を表す。

## 8. 引用文献

荒谷優太・石田薫・北野彩華・平岩尚樹・廣瀬友佳・赤塚千春・河内遥・中川潤哉・山本彩楓（2014）マツの種類による松毬の鱗片配列の規則性の共通点と相違点(化学と生物, 第52巻, 第8号, 555-557)  
前田智彦・岸上栞菜・武内優果・本脇敬人・吉田龍之介（2022）サボテンの刺座の配列に規則性はあるのか（化学と生物, 投稿中）

# サボテン(プリンチュウ *Pachycereus pringlei*) の刺座の配列方程式の決定

兵庫県立姫路東高等学校 科学部生物系研究部

○岸上菜菜 前田智彦 本脇敬人 吉田龍之介 藤田詩桜 村瀬太郎 大和司

キーワード 共有刺座 歪み 螺旋方程式

**動機** 昨年度のサボテン班(2021)は、10種のサボテンの刺座の配列を測定し、そこに規則性がないかどうか、方程式で示すことができないか研究を行った。しかし、同じ種であっても刺座の配列は個体によって異なっており、規則性を明らかにすることはできなかった。

**目的と仮説** ・昨年度規則性が認められなかった原因は、規則性を表す方程式が適切でないことや、サボテンの形状の個体差を処理しなかったからだと考えた。  
 ・本年度は、プリンチュウに種を絞り、刺座の配置を座標で表して螺旋方程式の考えを導入し、さらに個体の歪みを修正して方程式で表すことができないか研究を行った。  
 ・同種であれば刺座の配列に同じ規則性があるという仮説を立てた。



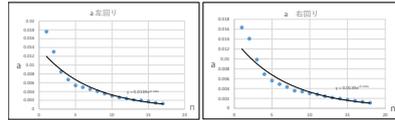
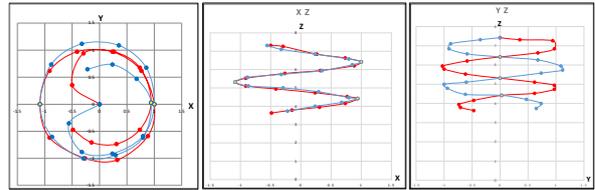
**考察**

- ① プリンチュウを真上から見たとき、刺座は左回りと右回りに螺旋を描いて配列し、共有刺座で交差しながら下方に伸びている。
- ② 歪みの多少にかかわらず、プリンチュウの刺座配列を螺旋方程式で表すことができた。
- ③ 本来の位置から刺座がどのくらい歪んで配置しているかを測定して、歪みを修正すると、より正確にプリンチュウの刺座の配列を表す特徴的な螺旋方程式を求めることができた。

$$r=0.0114e^{-0.127n\theta} \quad z=-0.1757n$$

**結果**

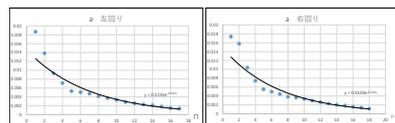
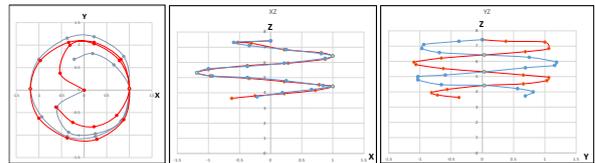
プリンチュウ1を例にして



左回り  $a=0.0139e^{-0.146n}$   
 $b=-0.2023n$   
 右回り  $a=0.0139e^{-0.144n}$   
 $b=-0.2052n$



刺座の配列の歪みを水平方向に修正すると



左回り  $a=0.0146e^{-0.145n}$   
 右回り  $a=0.0148e^{-0.145n}$

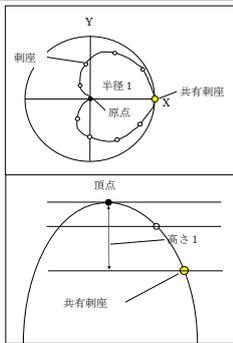
プリンチュウ試料1~8の螺旋方程式におけるn本目のaとb

	プリンチュウ1	プリンチュウ2	プリンチュウ3	プリンチュウ4	プリンチュウ5	プリンチュウ6	プリンチュウ7	プリンチュウ8
実数値 a, b	左回り $a=0.0139e^{-0.146n}$ 右回り $a=0.0139e^{-0.144n}$	左回り $a=0.0025e^{-0.170n}$ 右回り $a=0.0170e^{-0.170n}$	左回り $a=0.0123e^{-0.147n}$ 右回り $a=0.0471e^{-0.147n}$	左回り $a=0.0115e^{-0.164n}$ 右回り $a=0.0126e^{-0.170n}$	左回り $a=0.0215e^{-0.204n}$ 右回り $a=0.0243e^{-0.204n}$	左回り $a=0.0111e^{-0.171n}$ 右回り $a=0.0343e^{-0.191n}$	左回り $a=0.0149e^{-0.145n}$ 右回り $a=0.0568e^{-0.208n}$	左回り $a=0.0225e^{-0.145n}$ 右回り $a=0.2519e^{-0.208n}$
修正値	左回り $a=0.0146e^{-0.145n}$ 右回り $a=0.0148e^{-0.145n}$	左回り $a=0.0064e^{-0.170n}$ 右回り $a=0.0066e^{-0.170n}$	左回り $a=0.0094e^{-0.147n}$ 右回り $a=0.0096e^{-0.147n}$	左回り $a=0.0115e^{-0.164n}$ 右回り $a=0.0116e^{-0.164n}$	左回り $a=0.0204e^{-0.204n}$ 右回り $a=0.0216e^{-0.204n}$	左回り $a=0.0114e^{-0.171n}$ 右回り $a=0.0126e^{-0.191n}$	左回り $a=0.0146e^{-0.145n}$ 右回り $a=0.0146e^{-0.145n}$	左回り $a=0.0136e^{-0.145n}$ 右回り $a=0.0134e^{-0.145n}$

**研究方法**

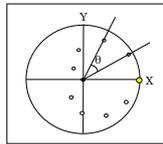
〈刺座の配列の測定方法〉

- 外形が様々に異なるサボテン8個体を
- ① 真上から見た際に刺座の位置が確認しやすいように刺を切り取り、刺座に垂直に針をさした。
  - ② 真上から写真を撮影し、方眼紙を乗せて刺座の座標を求めた(原点と1つ目の共有刺座(黄色)とを結び線分をx軸、これに垂直な線分をy軸とし、原点と1つ目の共有刺座間の距離を1とした。
  - ③ サボテンを真横から見て、原点と刺座まで、あるいは刺座間の高さの差を測定し、原点から1つ目の共有刺座間の距離を1として示した。



〈螺旋方程式の求め方〉

- ① プリンチュウを真上から見たx-y平面で、隣り合う刺座間の角度  $\theta$  を測定し、n本目の刺座における螺旋方程式を、左回りと右回りのそれぞれで求めた。
- ② x-y平面では、半径r、中心角  $\theta$  とすると、極方程式  $r=a\theta$ 、高さ  $z=b\theta$  となる。aはrと  $\theta$  の値から求めた。bは高さの座標から求めた。rとzの2つの方程式を合わせて螺旋方程式という。



〈歪みの測定方法〉

- ① プリンチュウの頂点を原点として、原点と第1刺座を結び直線を引き、それを下方に延長する。
- ② 第2刺座以降、この直線から左右にずれがある場合、左右のずれの距離(mm)を測定して、実際の刺座の位置をその長さだけ水平方向に移動させ、これを本来の理想的な配置とした。



**今後の課題**

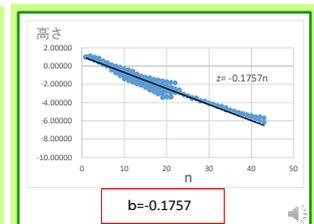
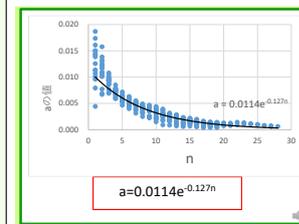
歪みを修正すれば、歪んだ個体でもプリンチュウを示す螺旋方程式を求めることができた。他のサボテン種でも同様の研究をおこない、比較することによって、今回の螺旋方程式のaとbがプリンチュウという種を表す特有のものかどうかについて検証しなければならない。さらに今後は、さまざまなサボテンの種の螺旋方程式を求め、系統樹上の距離との関係の有無についても明らかにしていきたい。

**謝辞**

本研究を行うにあたり、国立科学博物館筑波実験植物園と本校科学部顧問の川勝和哉主幹教諭には、有意義な議論をしていただいた。ここに記して謝意を表す。

**引用文献**

荒谷優太・石田薫・北野彩華・平岩尚樹・廣瀬友佳・赤塚千春・河内通・中川潤哉・山本彩楓(2014)マツの種類による松茸の鱗片配列の規則性の共通点と相違点(化学と生物, 第52巻, 第8号, 555-557)  
 前田智彦・岸上菜菜・武内優果・本脇敬人・吉田龍之介(2022)サボテンの刺座の配列に規則性はあるのか(化学と生物, 投稿中)



歪みを修正したaの近似曲線とbの近似直線

プリンチュウを表す螺旋方程式

$$r=0.0114e^{-0.127n\theta}$$

$$z=-0.1757n$$

# 蠕虫型ニハイチュウが片利共生する軟体動物の 腎囊における生育場所に対応する極帽形態の形成過程

兵庫県立姫路東高等学校 科学部生物系研究部

岸上 葉菜

キーワード：腎囊 極帽 片利共生 分化

## 要 旨

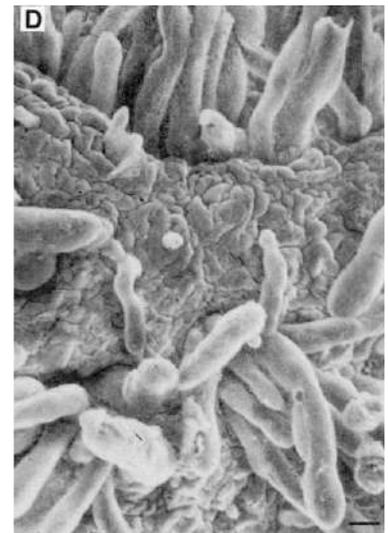
ニハイチュウ（二胚動物門）は、底生頭足類の腎臓に片利共生する体長数 mm の多細胞動物である。ニハイチュウには、蠕虫型個体と滴虫型幼生の2タイプがあり、蠕虫型個体が腎囊に接着する頭部（極帽）の形は腎囊表面の凹凸によってさまざまに異なる。

蠕虫型ニハイチュウの極帽はもともとすべて同じ円錐形であるが、イカやタコの腎囊表面の窪みや平らな部分の形状に対応して、成長とともに極帽の形状を適応させようとして変化させ、異なる種へと分化する。極帽が円錐形の種は、宿主に関わらず腎囊の窪みに接着し、極帽が成長しても変形せずに円錐形を保つ。一方、極帽が円盤形のものや一部帽子形様のものは、成長しても極帽は成長しないか、あるいは途中で成長が止まり、極帽の形を円盤形に変形させる。

## 1. 動機と目的

2021年に筆者は科学部顧問の勧めで大阪大学のSEEDSプログラムに挑戦し合格することができた。そこで、日本で数少ないニハイチュウの研究者であり多くの研究論文を発表しておられる古屋秀隆教授に出会い、ニハイチュウに強い興味をもち、以来2年間研究をおこなっている。

ニハイチュウはイカやタコなどの頭足類の腎囊表面に接着して過ごす片利共生生物である（[図1](#)）。接着する頭部（極帽とよぶ）の形は腎囊表面の凹凸によってさまざまに異なる。どのように極帽の形を変えるのかについての研究は、まだ始まったばかりである。本研究では、生殖場所で異なるニハイチュウの蠕虫型個体について、極帽を構成する前極細胞と後極細胞がどのような細胞成長を行うことで、もともとと同じ紡錘形であった極帽形態に違いが生じるのか、形成過程を明らかにすることを目的に研究をおこなうことにした。



[図1](#) 腎囊表面に吸着するニハイチュウ（古屋, 2004）  
（スケールは20  $\mu$ m）

## 2. ニハイチュウについて

ニハイチュウ（二胚動物門）は、底生のタコやイカなど頭足類の腎臓に片利共生する体長数 mm の多細胞動物である。細胞総数は種によってほぼ一定で、一般に22個前後であり、最多でも50個未満である。通常は無性生殖で増えるが、腎囊内で数が増えると有性生殖も行う。ニハイチュウの生活史には、蠕虫型個体と滴虫型幼生の2タイプの形態がみられる。蠕虫型個体は、尿とともに海中に排出されないよう、その極帽で腎囊に接着するか、腎囊表面の窪みに極帽を挿入して離れないようにしている。したがって、ニハイチュウにとって蠕虫型個体の極帽形態は、腎臓にとどまる上で重要な部域といえる。極帽は、一般に4個の前極細胞と4~6個の後極細胞とよばれる2層の細胞群によって構成されている。蠕虫型個体

の腎臓表面に接着する種の極帽は扁平な形、一方腎臓の窪みに挿入する種の極帽は円錐形である（古屋，1996・2002・2004・2006・2020a・2020b）。

ニハイチュウは多細胞生物が退化して誕生したことから、ニハイチュウの研究は、単細胞生物と多細胞生物の間のつながりを知るために重要であるにもかかわらず、ほとんど研究がなされていない。

### 3. 観察

蠕虫型のニハイチュウは、極帽の形状によって大きく、円錐形、円盤形、帽子形、不定形の4種類に分類できる。本研究ではそのうち、図2に示す、ミサキニハイチュウ（円錐形）、マッコナギーニハイチュウ（円錐形）、ヌベルニハイチュウ（円錐形）、アオリイカニハイチュウ（円盤形）、ヤマトニハイチュウ（円盤形と帽子形の間中型）の5種類と今回発見された新種の1種類（ツネキニハイチュウと命名／円盤形）の合計6種類のニハイチュウを対象として研究をおこなった。

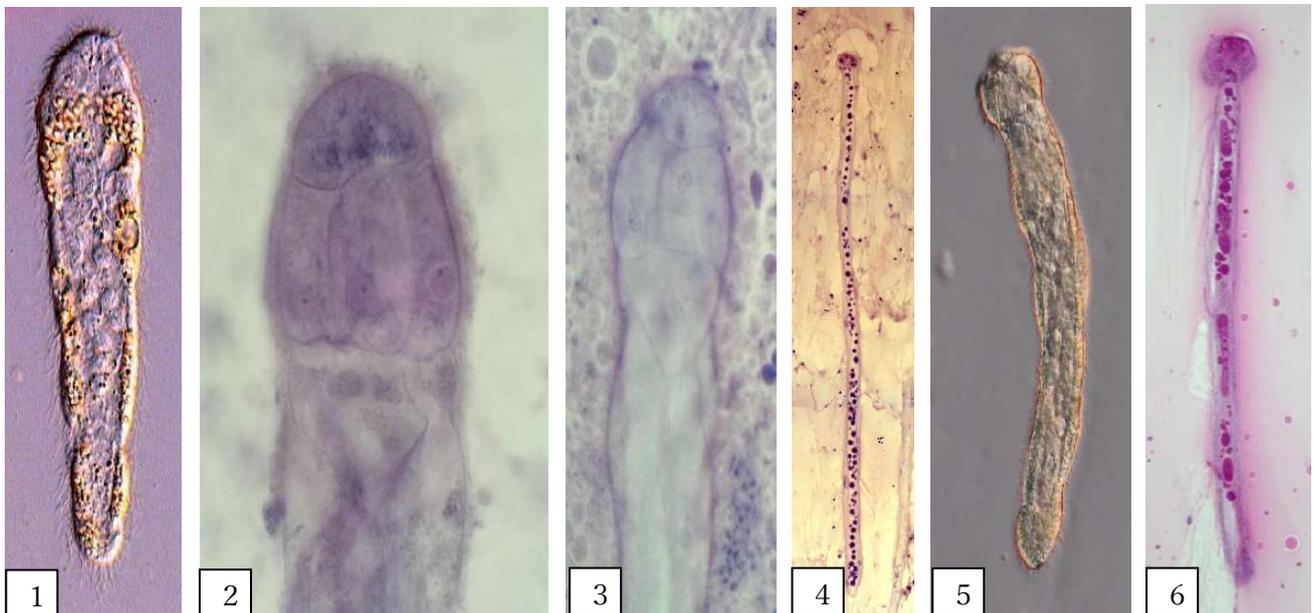


図2 研究対象としたニハイチュウ（1、4、5、6：写真縦100 μm、2、3：写真縦50 μm）

1：ミサキニハイチュウ（円錐形） 2：マッコナギーニハイチュウ（円錐形） 3：ヌベルニハイチュウ（円錐形） 4：アオリイカニハイチュウ（円盤形） 5：ヤマトニハイチュウ（円盤形と帽子形の間中型） 6：ツネキニハイチュウ（新種／円盤形）

顕微鏡下でミズダコやクモダコ、マダコ、アオリイカの腎嚢を開き、腎嚢表面をスライドガラスでこすり取るようにしてニハイチュウを付着させ、プレパラートを作成する。この際、体がのびて変形してしまうことがあるため、観察と測定に用いることができるニハイチュウは、3個体中1個体程度である。こうしてはがしとった、変形していないニハイチュウを、前述の6種類でそれぞれ50個体ずつ収集し、極帽をなす前極細胞（4個の細胞からなる）と後極細胞（4～6個の細胞からなる）の高

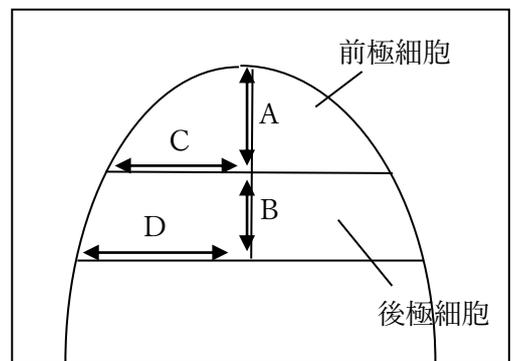


図3 ニハイチュウの極帽の測定

さ（A、B）と幅（C、D）（図3）をマイクロメーターを用いてそれぞれ測定した。引きはがす際の微弱的な変形がある可能性があるため、測定値を統計的に処理した。

4. 結果

6種類のニハイチュウの測定結果をグラフにまとめて示す。実測値は巻末に資料として示す。ここに示すすべてのニハイチュウは、ミスダコ、クモダコ、マダコ、アオリイカに関わらず同様に採取することができる。観察したすべてのニハイチュウは、小さいときには極帽がすべて円錐形であるが、成長するにつれて種ごとに極帽の形状に個性がみられるようになる。

(1) ミサキニハイチュウ (*Dicyemodoca misakiense*)

体が成長するにつれて前極細胞、後極細胞ともに成長して大きくなるが、終始円錐形を保っており、極帽の形状は変化しない（図4～図6）。

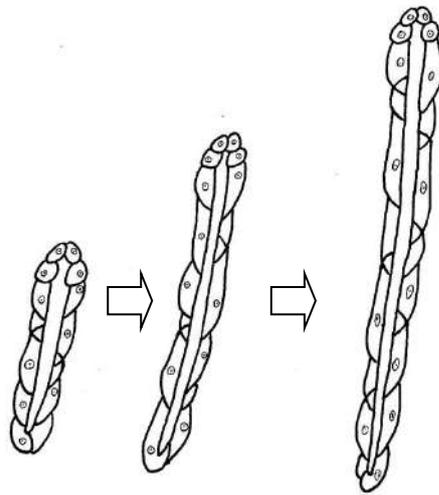


図4 ミサキニハイチュウの成長過程のスケッチ

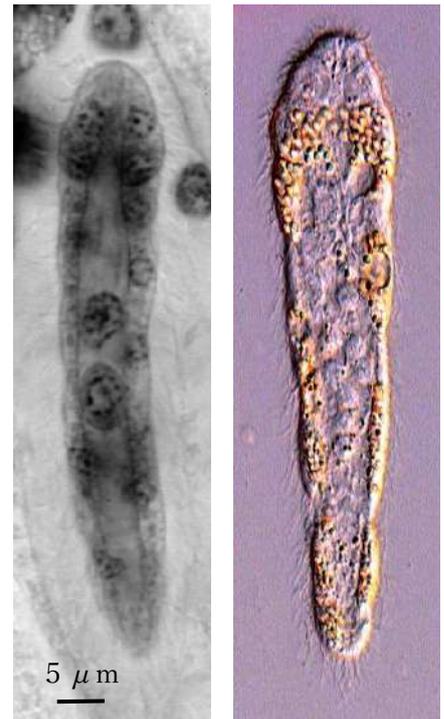
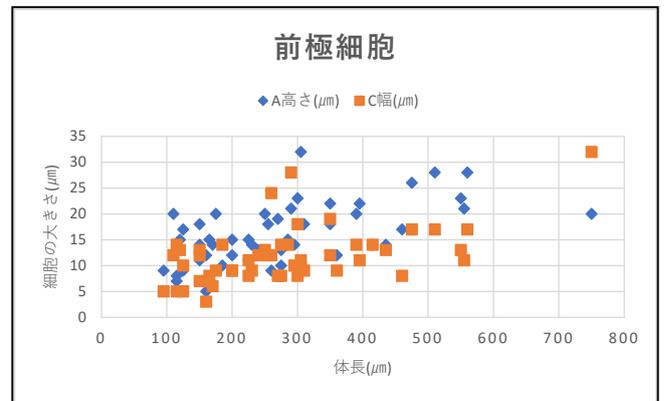
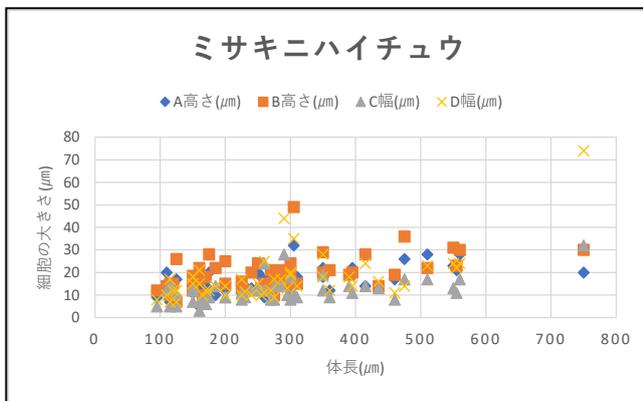


図5 ミサキニハイチュウの幼生（左）と成体（右／写真縦100μm）



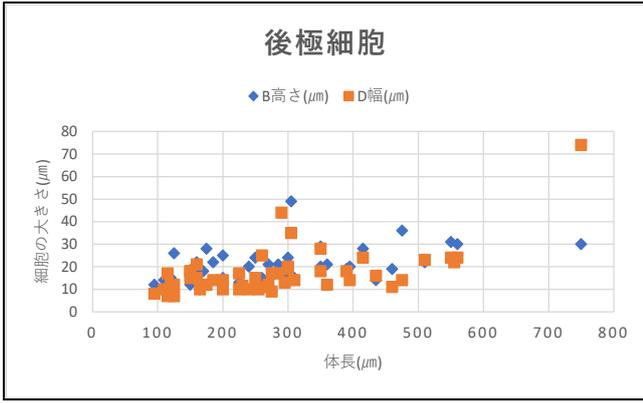


図6 ミサキニハイチュウの体長と極帽をつくる細胞の大きさ

(2) マッコナギーニハイチュウ (*Dicyemodeca mcconaugheyi*)

他の種と比べ、極帽の大きさの変化が、体の成長による体幅の増加の影響を受けにくい。他の円錐形の種と違い、後極細胞の個数が5個と多いことによるためだと考えられるが、前極細胞、後極細胞ともに1個あたりの極帽は少しずつ成長している。極帽の形状は、成長しても円錐形のままで変化しない(図7～図9)。

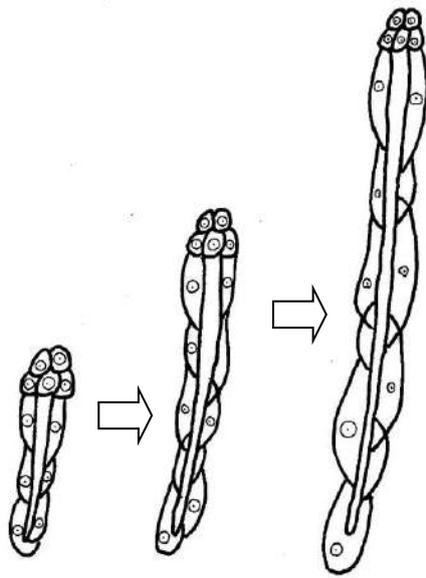
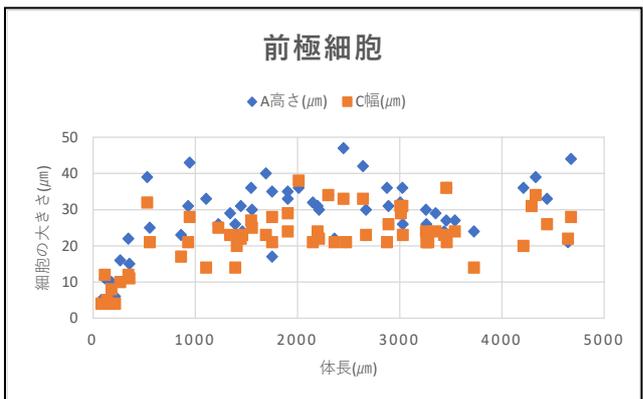
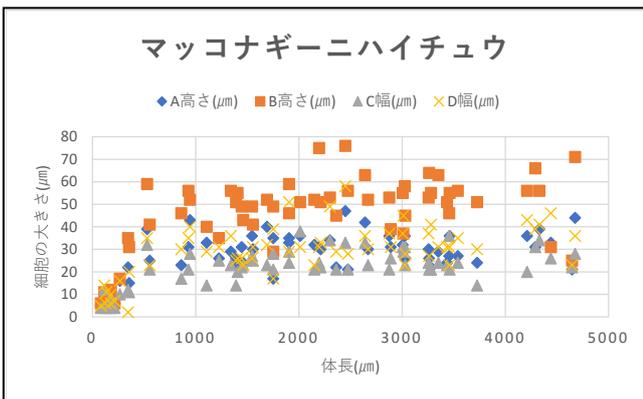


図7 マッコナギーニハイチュウの成長過程のスケッチ



図8 マッコナギーニハイチュウの幼生(左)と成体(右/縦50 μm)



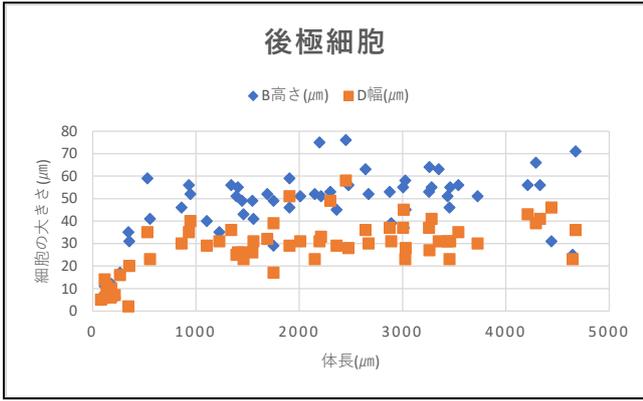


図9 マッコナギーニハイチュウの体長と極帽をつくる細胞の大きさ

(3) ヌベルニハイチュウ (*Dicyemenea nouveli*)

成長するにつれて前極細胞、後極細胞ともに大きくなる (図10～図12)。極帽の形状は、成長しても円錐形のまま変化しない。

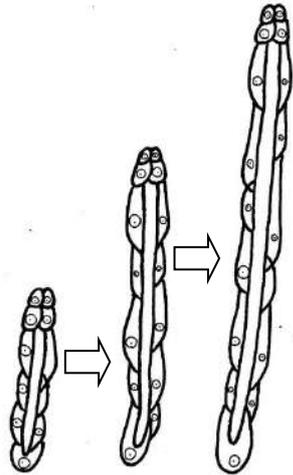


図10 ヌベルニハイチュウの成長過程のスケッチ

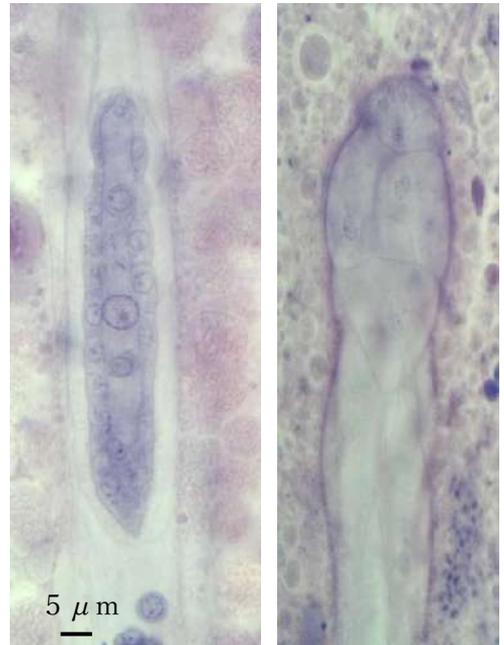
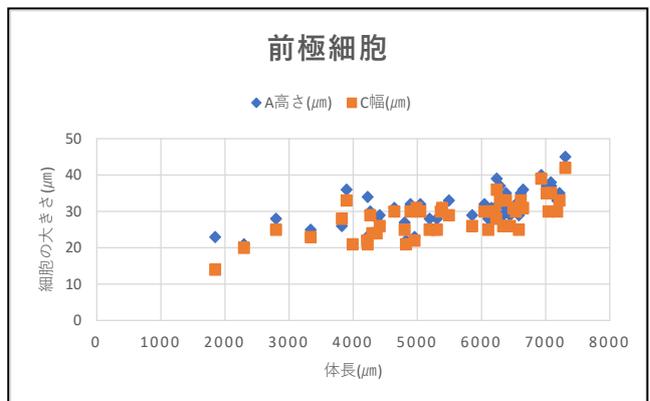
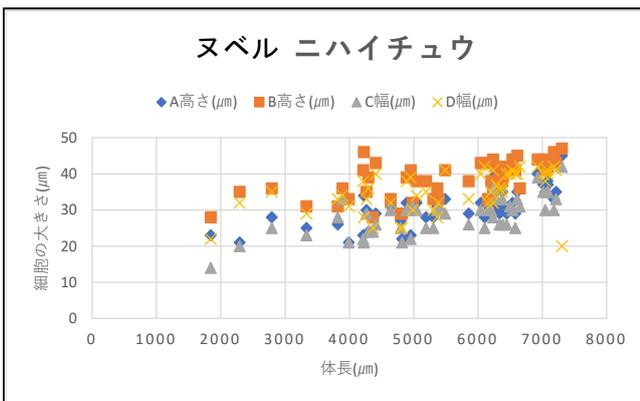


図11 ヌベルニハイチュウの幼生 (左) と成体 (右/縦50 μm)



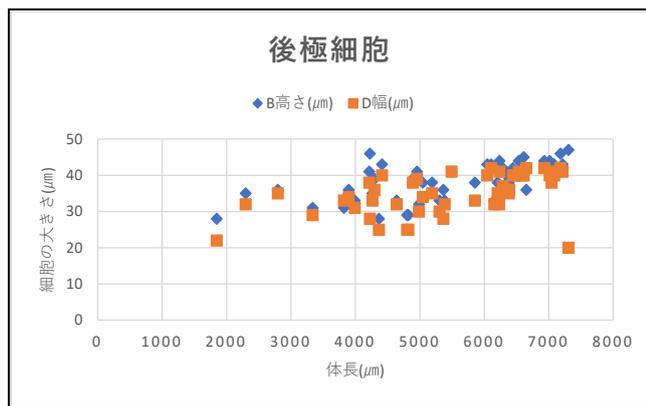


図12 スベルニハイチュウの体長と極帽をつくる細胞の大きさ

(4) アオリイカニハイチュウ (*Dicyema orientale*)

成長しても、極帽の大きさはほとんど変化しない (図13~図15)。極帽の形状は成長とともに円錐形から円盤形に変化していく。

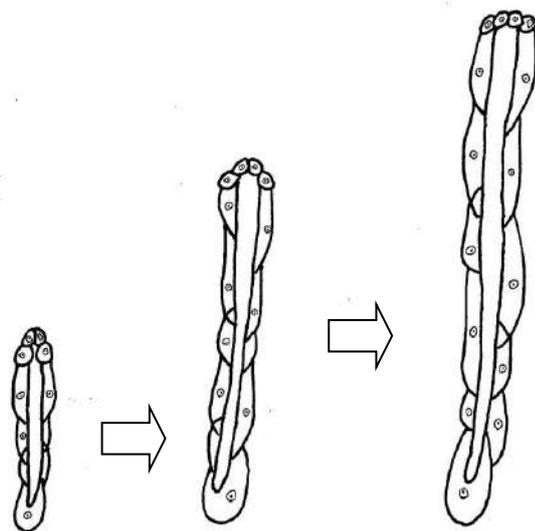


図13 アオリイカニハイチュウの成長過程のスケッチ

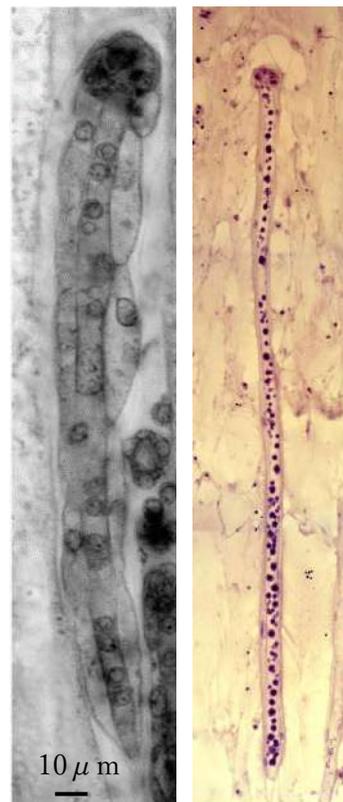
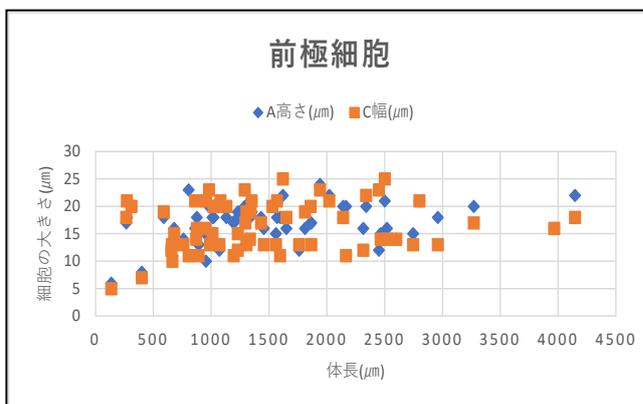
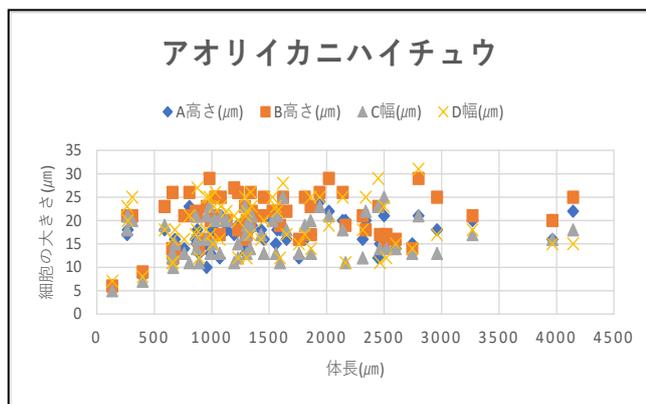


図14 アオリイカニハイチュウの幼生(左)と成体(右) 縦100 μm



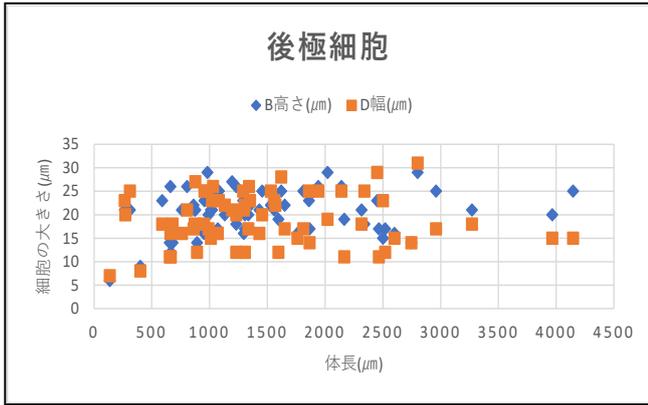


図15 アオリイカニハイチュウの体長と極帽をつくる細胞の大きさ

(5) ヤマトニハイチュウ (*Dicyemodoca japonicum*)

成長しても、前極細胞も後極細胞も成長することはなく、極帽の大きさは変化しない(図16~図18)。極帽に側極細胞が出現し、これが成長して極帽の形状を円盤形に変化させているように見える。

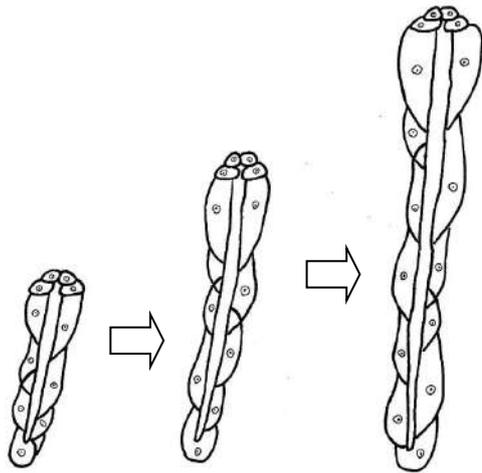
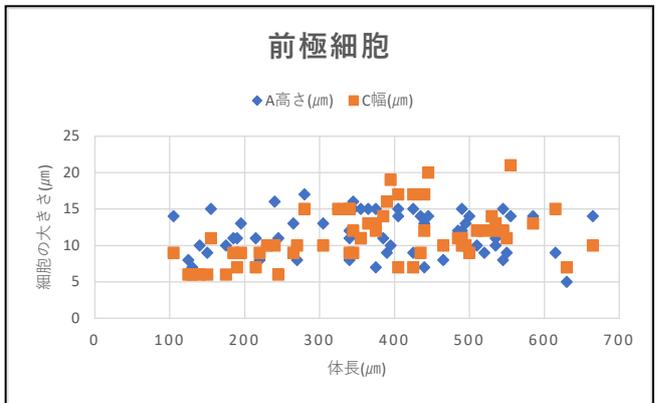
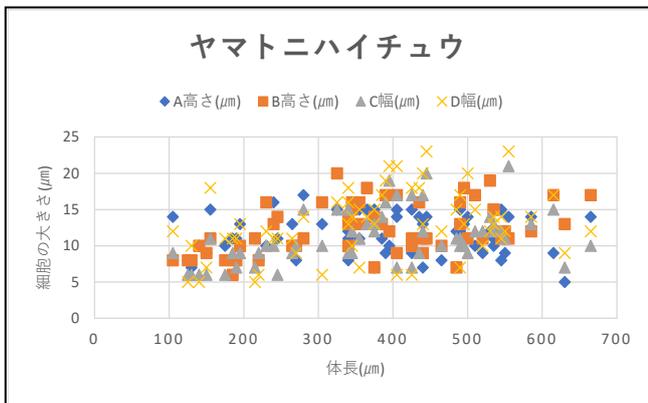


図16 ヤマトニハイチュウの成長過程のスケッチ



図17 ヤマトニハイチュウの幼生(左)と成体(右/写真縦100mm)



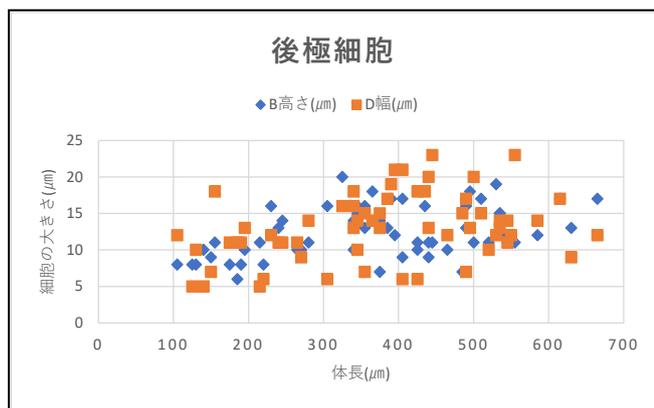


図 18 ヤマトニハイチュウの体長と極帽をつくる細胞の大きさ

(6) ツネキニハイチュウ (*Dicyemodeca tsunekii*)

はじめは体の成長とともに極帽も成長するが、体長 800 μm前後で前極細胞、後極細胞ともに成長が止まる (図 19~図 21)。体長 800 μm付近で、極帽が円盤形へと変と変形していく。

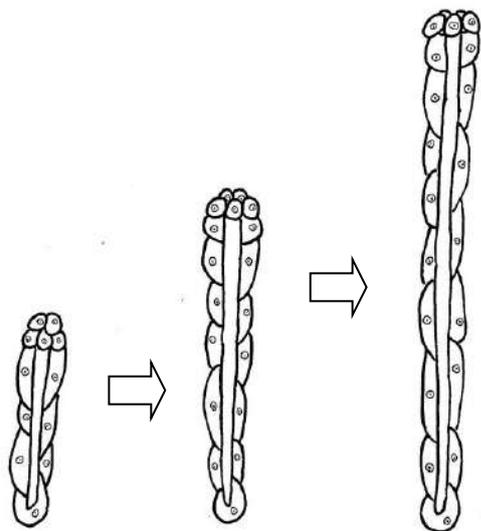


図 19 ツネキニハイチュウの成長過程のスケッチ

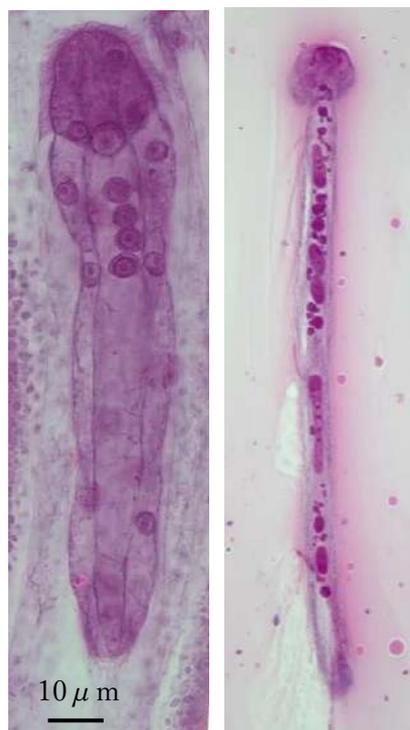
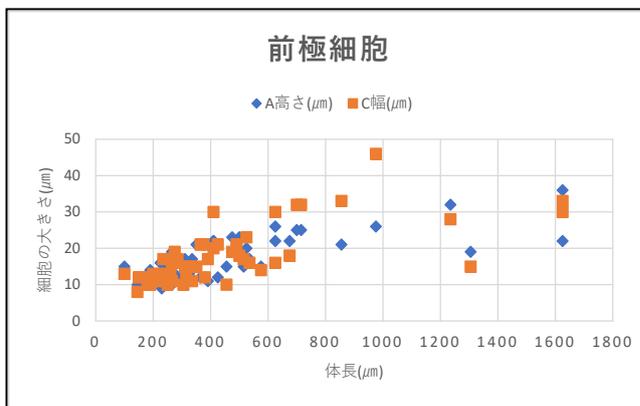
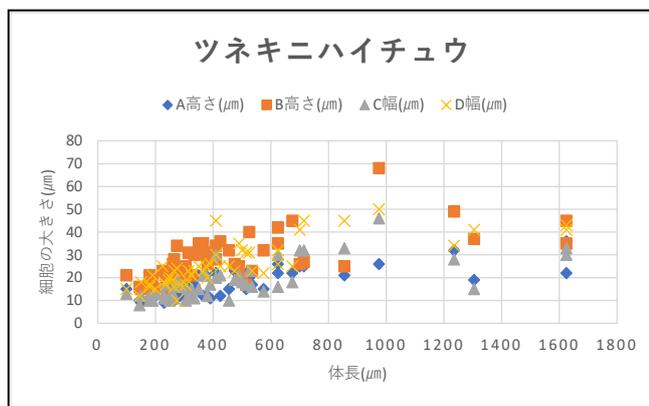


図 20 ツネキニハイチュウの幼生 (左) と成体 (右/写真縦 100 μ mm)



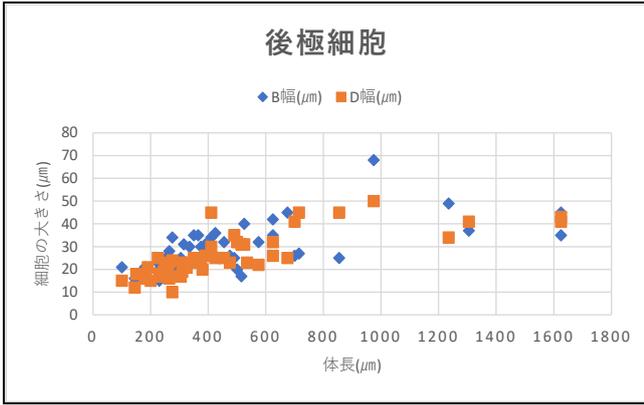


図 21 ツネキニハイチュウの体長と極帽をつくる細胞の大きさ

なお、ニハイチュウを採取したタコやイカの腎囊表面の形状はいずれも類似している。宿主となるイカやタコの種類によって、そこに接着しているニハイチュウの種類は異なるが、窪みには極帽が円錐形のニハイチュウが、平らな部分には極帽が円盤形のニハイチュウが接着しているという点で共通である。

5. 考察

蠕虫型ニハイチュウの極帽の形態は腎臓での生息場所に対応し、種によって異なっている。腎囊表面に接着する種の極帽は扁平な形、一方腎臓の窪みに挿入する種の極帽は円錐形である。本研究では、生殖場所で異なる蠕虫型個体について、前極細胞と後極細胞がどのような細胞成長を行うことで、それぞれ極帽形態に違いが生じるのか、形成過程を明らかにした。6種について各50個体計測し、極帽の形態の違いで、2パターンの形成過程が見られた。

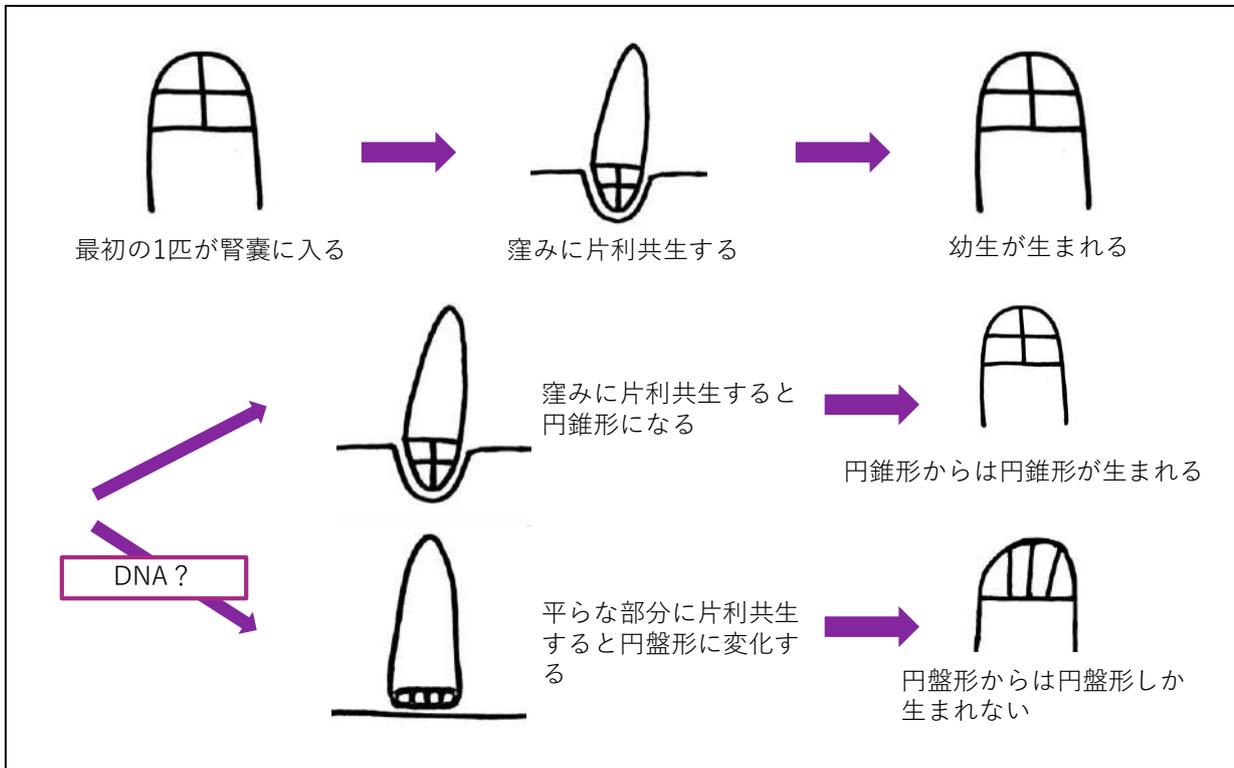


図 22 ニハイチュウの形質の変化の模式図

ニハイチュウの極帽はもともとすべて円錐形であるが、イカやタコと共生する際に、イカやタコの腎囊表面の窪みや平らな部分の形状に対応して、大きく4種類に極帽の形状を適応させようとして変化させ、異なる種へと変化することがわかった。そのうち、極帽が円錐形の種は、宿主がミズダコ、クモダコ、マダコ、アオリイカに関わらず、腎囊の窪みに接着し、極帽が成長しても変形せずに円錐形を保つ。一方、極帽が円盤形のものや一部帽子形様のものは、成長しても極帽は成長しないか、あるいは途中で成長が止まり、極帽の形を円盤形に変形させる。円錐形のニハイチュウの体を作る細胞が成長しても、後極細胞が成長を止めると、後極細胞間に隙間が生じ、そこに前極細胞が陥没して円盤形に変形する。一度円盤形に変化すると、そこから生まれた幼生はすべて円盤形になる(図22)。

最初は同じ円錐形であったものが、成長とともに極帽の形状に個性がみられるようになり、異なる種へと分化する。最初から種が異なっていて、成長とともに異なる個性を発現するようにプログラムされているのであれば、ニハイチュウは腎囊に接着する段階で、環境(腎囊の窪みか平らな場所か)を選んでいなければ、生育場所に適応した極帽の形状になることを説明できない。より高い可能性は、最初は種に分化していないニハイチュウは、生育する環境に適応して変形し、異なる種へと分化していくという可能性である。

## 6. 今後の課題

ニハイチュウの研究はまだ緒に就いたばかりであり、研究者も極めて少ない。

吸着する場所によって種が変化する現象をDNAから見るとどのようになっているのか、たとえば表に現れていない形質が出現するようになるのか、それとも形態的に異なる種へと分化しているのかを解明しなければならない。さらに、イカやタコの腎囊の窪みや平らな部分の大きさや形状を測定し、イカやタコの凹凸の大きさと、そこに吸着する種のニハイチュウの極帽の大きさや形状が対応しているのかどうかについて具体的に調べたい。また、ニハイチュウを採取したミズダコやクモダコ、マダコ、アオリイカの腎囊表面の形状はいずれも同じであるが、イカやタコの種類によって、そこに接着しているニハイチュウの種類がなぜ異なるのかについても、さらに研究を続けたい。さらに、今回は扱いが困難で除外した、不定形のニハイチュウについても、極帽の形成過程を観察したい。

## 7. 謝辞

本研究を行うにあたり、大阪大学大学院理学研究科(生物科学)の古屋秀隆教授と、本校科学部顧問の川勝和哉主幹教諭には、考察において有意義な議論をしていただいた。ここに記して謝意を表す。

## 8. 引用文献

- 古屋秀隆(1996)ニハイチュウ(中生動物)の生物学(比較生理生化学会誌, 13, 209-218.)  
古屋秀隆(2002)日本近海産2種のタコから見いだされたニハイチュウ(日本動物分類学会第38回大会講演抄録)  
古屋秀隆(2004)中生動物ニハイチュウの形態と生活史の適応(比較生理生化学会誌, 21, 128-134.)  
古屋秀隆(2006)ニハイチュウ類の分類に関する最近の話題(日本動物分類学会誌, 21, 19-32.)  
古屋秀隆(2020a)熊野灘産底棲無脊椎動物相における最近の話題(日本動物分類学会誌, 48, 1-2.)  
古屋秀隆(2020b)熊野灘産頭足類にみられるニハイチュウ類(日本動物分類学会誌, 48, 3-12.)

# 腎囊でのニハイチュウの極帽形態の形成過程

兵庫県立姫路東高等学校 科学部生物系研究部  
岸上 菜菜

キーワード: 腎囊 極帽 片利共生 分化

## ニハイチュウについて

ニハイチュウ(二胚動物門)は、底生のタコやイカなど頭足類の腎臓に片利共生する体長数mmの多細胞動物である。細胞総数は、一般に22個前後である。蠕虫型個体のニハイチュウは、尿とともに海中に排出されないよう、その極帽で腎囊に接着するか、腎囊表面の窪みに極帽を挿入して離れないようにしている。蠕虫型個体の腎臓表面に接着する種の極帽は扁平な形、一方腎臓の窪みに挿入する種の極帽は円錐形となることから、ニハイチュウの極帽形態は腎臓にとどまる上で重要な領域といえる(1)~(6)。

多細胞生物が退化してニハイチュウが生まれ、単細胞生物と多細胞生物の間のつながりを知るために重要な生物である!

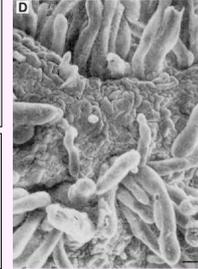


図1 腎囊表面に吸着するニハイチュウ(古屋2004)(スケールは20μm)

## 動機と目的

2021年に私は科学部顧問の勧めで大阪大学のSEEDSプログラムに挑戦し合格することができた。そこで、ニハイチュウに強い興味をもち、以来2年間研究をおこなっている。

接着する極帽の形は腎囊表面の凹凸によってさまざまに異なる。本研究では、生殖場所異なるニハイチュウの蠕虫型個体について、極帽を構成する前極細胞と後極細胞がどのような細胞成長を行うことで、もともと円錐形であった極帽形態に違いが生じるのか、形成過程を明らかにすることを目的に研究をおこなうことにした。

## 考察

・6種を各50個体計測し、極帽の形態の違いで2パターンの形成過程が見られた。  
・極帽はもともとすべて円錐形であるが、イカやタコを共生する際に、その腎囊表面の窪みや平らな部分の形状に対応して、大きく4種類に極帽の形状を適応させようとして変化させ、異なる種へと分化する。

・極帽が円錐形の種は、宿主がミズダコ、クモダコ、マダコ、アオリイカに関わらず、腎囊の窪みに接着し、極帽が成長しても変形せずに円錐形を保つ。  
・極帽が円盤形のものや一部帽子形様のものは、平らな部分に接着し、成長しても極帽は成長しないか、あるいは途中で成長が止まり、極帽の形を円盤形に変形させる。

## 観察

蠕虫型のニハイチュウは、極帽の形状によって大きく、円錐形、円盤形、帽子形、不定形の4種類に分類できる。本研究ではそのうち、図2に示すミサキニハイチュウ(1円錐形)、マッコナギーニハイチュウ(2円錐形)、ヌベルニハイチュウ(3円盤形)、アオリイカニハイチュウ(4円盤形)、ヤマトニハイチュウ(5円盤形と帽子形の中間型)、今回発見された新種のツネキニハイチュウ(6円盤形)の合計6種類のニハイチュウを対象として研究をおこなった。変形していないニハイチュウを、前述の6種類でそれぞれ50個体ずつ収集し、極帽をなす前極細胞と後極細胞の高さ(A、B)と幅(C、D)を図3をマイクロメーターを用いてそれぞれ測定し、測定値を統計的に処理した。

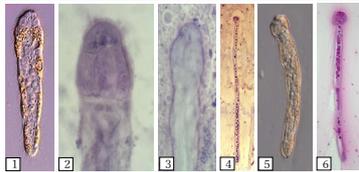


図2 研究対象のニハイチュウ(1456・写真縦100μm、23・50μm)

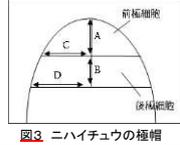


図3 ニハイチュウの極帽

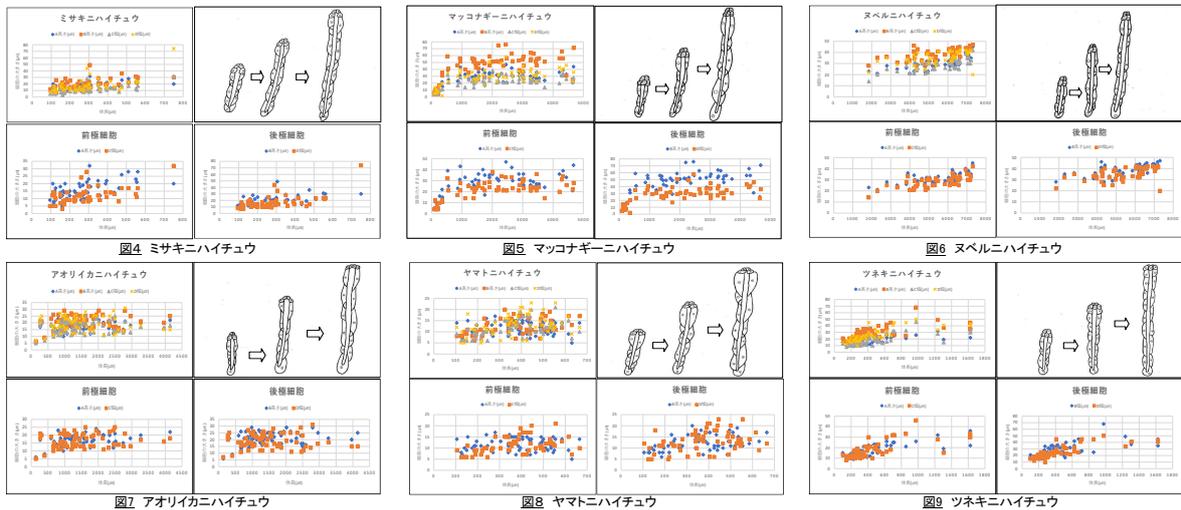
## 成長しても円錐形

- (1)ミサキニハイチュウ(*Dicyemodoca misakiense*)  
成長するにつれて前極細胞、後極細胞ともに成長して大きくなる(図4)。
- (2)マッコナギーニハイチュウ(*Dicyemodoca mccoonaugheyi*)  
他の種と比べ、極帽の大きさの変化が、体の成長による体幅の増加の影響を受けにくい(図5)。
- (3)ヌベルニハイチュウ(*Dicyemenea novelli*)  
成長するにつれて前極細胞、後極細胞ともに大きくなる(図6)。

## 円錐形から円盤形へ変化

- (4)アオリイカニハイチュウ(*Dicyema orientale*)  
成長しても、極帽の大きさはほとんど変化しない(図7)。
- (5)ヤマトニハイチュウ(*Dicyemodoca japonicum*)  
成長しても、前極、後極細胞とも成長せず、極帽の大きさは変化しない(図8)。
- (6)ツネキニハイチュウ(*Dicyemodoca tsunekii*)  
はじめは体の成長とともに極帽も成長するが、体長800μm前後で前極細胞、後極細胞ともに成長が止まる(図9)。

## 結果 6種類のニハイチュウの測定結果をグラフにまとめて示す。



## 今後の課題

イカやタコの腎囊の窪みや平らな部分の大きさや形状を測定し、その凹凸の大きさと、そこに吸着する種のニハイチュウの極帽の大きさや形状が対応しているのかどうかについて具体的に調べたい。また、ニハイチュウを採取したミズダコやクモダコ、マダコ、アオリイカの腎囊表面の形状はいずれも同じであるが、イカやタコの種類によって、そこに接着しているニハイチュウの種類がなぜ異なるのかについても、さらに研究を続けたい。さらに、今回は扱いが困難で除外した、不定形のニハイチュウについても、極帽の形成過程を観察したい。

## 参考文献

- 1) 古屋秀隆(1996)ニハイチュウ(中生動物)の生物学(比較生理生化学会誌, 13, 209-218.)
- 2) 古屋秀隆(2002)日本近海産2種のタコから見いだされたニハイチュウ(日本動物分類学会第38回大会講演抄録)
- 3) 古屋秀隆(2004)中生動物ニハイチュウの形態と生活史の適応(比較生理生化学会誌, 21, 128-134.)
- 4) 古屋秀隆(2006)ニハイチュウ類の分類に関する最近の話題(日本動物分類学会誌, 21, 19-32.)
- 5) 古屋秀隆(2020a)熊野灘産底棲無脊椎動物相における最近の話題(日本動物分類学会誌, 48, 1-2.)
- 6) 古屋秀隆(2020b)熊野灘産頭足類にみられるニハイチュウ類(日本動物分類学会誌, 48, 3-12.)

## 謝辞

本研究を行うにあたり、大阪大学大学院理学研究科(生物科学)の古屋秀隆教授には、大阪大学SEEDSプログラムで丁寧なご指導をいただいた。また、本校科学部顧問の川勝和哉主幹教諭には、考察において有意義な議論をしていただいた。ここに記して謝意を表す。

## 兵庫県南部の揖保川花崗閃緑岩の角閃石にみられる微細構造

兵庫県立姫路東高等学校 科学部地学系研究部

○高田健吾 中農拓人 志村実咲 菅原楓 本脇敬人 山浦奈々

陰山麻愉 田村花里奈 藤盛心実 前田隆良 松田理沙 溝垣月渚 村尾倅生

キーワード：熱水残液 波状累帯構造 サブソリダス環境

### 要 旨

角閃石の波状累帯構造は、結晶化後にサブソリダス環境下でマグマが発泡して生成した熱水残液の循環の影響によるイオン置換を記録している。本研究で筆者らは、山陽帯の花崗閃緑岩の角閃石から、初めて明瞭な波状累帯構造を確認した。ほぼ同時代に同地域で活動した中性マグマが固結してできた火山岩であるデイサイトの角閃石から同様の微細構造は発見されない。

波状累帯構造が幅広い領域に発達している山陰帯の深成岩の角閃石に比べて、山陽帯の深成岩では角閃石の波状累帯構造の発達の程度は低い。マグマが、発泡による熱水残液が形成されにくい深所に貫入して固結したために、熱水残液の循環が山陰帯に比べて起こりにくい還元的環境にあったと推定される。波状累帯構造をもつ角閃石の最外縁部には濃緑色リムが形成されており、最終段階では酸化的环境であったと考えられる。一方、デイサイトのような火山岩では、固結までの時間が短く、また還元的環境であったために、熱水残液が形成されたり循環が起こったりする可能性が低かったのではないかと推定される。

### 1. 研究の背景と目的

変成岩の角閃石に波状累帯構造 (Oscillatory Zoned Structure) などの微細構造がみられることは、1970年代以降多く報告されている (Yamaguchi, Akai and Tomita, 1978, Yamaguchi, Shibakusa and Tomita, 1983)。波状累帯構造は、結晶の成長方向 (c 軸) に垂直な面に幅数 $\mu\text{m}$ の微細な帯状構造が発達する構造で、いったん結晶化した角閃石が二次的な熱によって再平衡し、再結晶化することで形成されたことが明らかにされている。

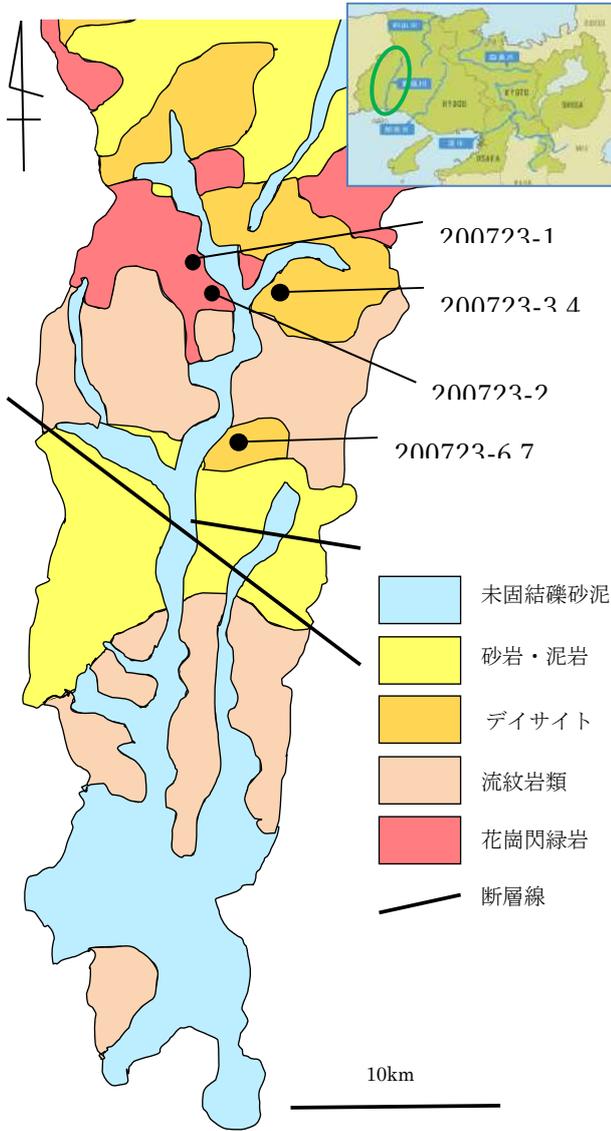
1987年、Kawakatsu and Yamaguchi (1987a) は、火成岩 (深成岩) としては初めて、山陰帯 (Ishihara, 1977・石原, 1982) の石英閃緑岩から、マグマ分化過程末期の熱水残液の循環によって二次的に形成された波状累帯構造を発見した。深成岩と変成岩では波状累帯構造の形成過程が異なるように見えるが、熱水や熱の影響の程度が異なるだけで、基本的に二次的に置換が起こって形成されるメカニズムに違いはない。その後、兵庫県立加古川東高等学校地学部 (2008・2013) が山陽帯加古川市一高砂市の播磨花崗閃緑岩と神戸市の布引花崗閃緑岩の角閃石について、また兵庫県立姫路東高等学校科学部 (2019) が山陽帯姫路市の揖保川花崗閃緑岩の角閃石について報告したが、いずれも発見したとされるものは波状累帯構造であるかどうか疑わしく、山陽帯の深成岩の角閃石に波状累帯構造がみられるのかどうかは明らかにされていない。

マグマの結晶分化作用は教科書で説明されているような単純なものではない。マグマから鉱物が結晶化するときには、融点の高い鉱物から順に黒雲母から輝石、角閃石へと晶出するわけではない (都城・久城, 1977・小出, 2017) し、マグマが相互に不混和なマグマに分かれたり、周囲の物質を取り込む混染を起こすこともある。熱水残液の循環によって、一度結晶化した鉱物が再平衡するなど、マグマは非常に複雑な系である。熱水残液の循環は、マグマに含まれる  $\text{H}_2\text{O}$  の発泡によって起こるとされている (Kennedy, 1955)。

### 2. 研究の目的

火成岩の波状累帯構造は、熱水残液の循環の程度とイオン置換による再平衡のようすを示す指標となる。そこで、ほぼ同時代に同地域で活動した中性マグマが固結してできた火山岩と深成岩を比較することにした。山陽帯白亜紀-古第三紀相生層群に属する(兵庫県, 2017) 揖保川花崗閃緑岩とデイサイトの研磨薄片を作成して詳細に観察し、熱水残液の循環が起こったのかどうかを明らかにしたいと考えた。

3. 観察の結果  
(1) 岩石記載



兵庫県南西部を南北に流れる1級河川の揖保川流域の露頭調査をおこなった。本地域には、デイサイト～流紋岩類が広く分布しており、そこから島状に点々と花崗閃緑岩が顔を出している。宍粟市一宮町下野田(試料番号 200723-3、200723-4)と宍粟市山崎町三谷(試料番号 200723-6、200723-7)からデイサイトを、また宍粟市一宮町杉田(試料番号 200723-1)と宍粟市一宮町西安積(試料番号 200723-2)から花崗閃緑岩を採取した(図1)。

花崗閃緑岩は、風化の影響をあまり受けておらず、あちこちに角閃石を中心にした有色鉱物が直径 3cm 程度に集合している。主な有色鉱物は最大 8mm の角閃石で、一部は緑泥石化している。無色鉱物は、最大長 10mm 程度の斜長石と 5mm 程度の石英が中心である。モード組成は、石英 20.9、カリ長石 4.6、斜長石 59.5、角閃石 12.6、その他、磁鉄鉱、ジルコン、燐灰石、エピドート、黒雲母、スフェーンなどがみられる。

デイサイトには弱い流理構造が見られるが、肉眼で観察できる熱水脈はない。風化変質の影響が弱く、長さ 2mm～3mm 程度の石英や、最大 8mm の斜長石の斑晶が見られる。斑晶は、斜長石 20.3%、角閃石 6.3%、不透明酸化鉱物 3.1% である。角閃石の斑晶の多くは長さ 0.1mm 以下程度と小さく、一部変質によって緑泥石化している。

図1 調査地域の地質図と試料採取地点  
(兵庫県立姫路東高等学校科学部, 2021 に加筆)

(2) 角閃石の波状累帯構造

偏光顕微鏡で観察した結果、初めて花崗閃緑岩の角閃石から微弱な波状累帯構造を発見した。いずれの波状累帯構造も、約 1 μm 程度の幅の細い帯が結晶の c 軸方向に垂直に波状にみられる。採取したデイサイトから波状累帯構造はまったく発見されない。

花崗閃緑岩の角閃石は自形～半自形で、淡褐色のコアと淡緑色のリムからなるものや、全体が淡緑色のものがある。いずれの場合にも波状累帯構造は、二次的に再平衡して形成されたとされる淡緑色リムから発見され、淡褐色のコアからは発見されない(図2)。最外縁部に濃緑色のゾーンをもつものも複数みられる。波状累帯構造を持つ角閃石は 1 か所に集合しているように見える。角閃石は斜長石やカリ長石と隣接しており、淡緑色リム部には酸化鉱物が包有されている。

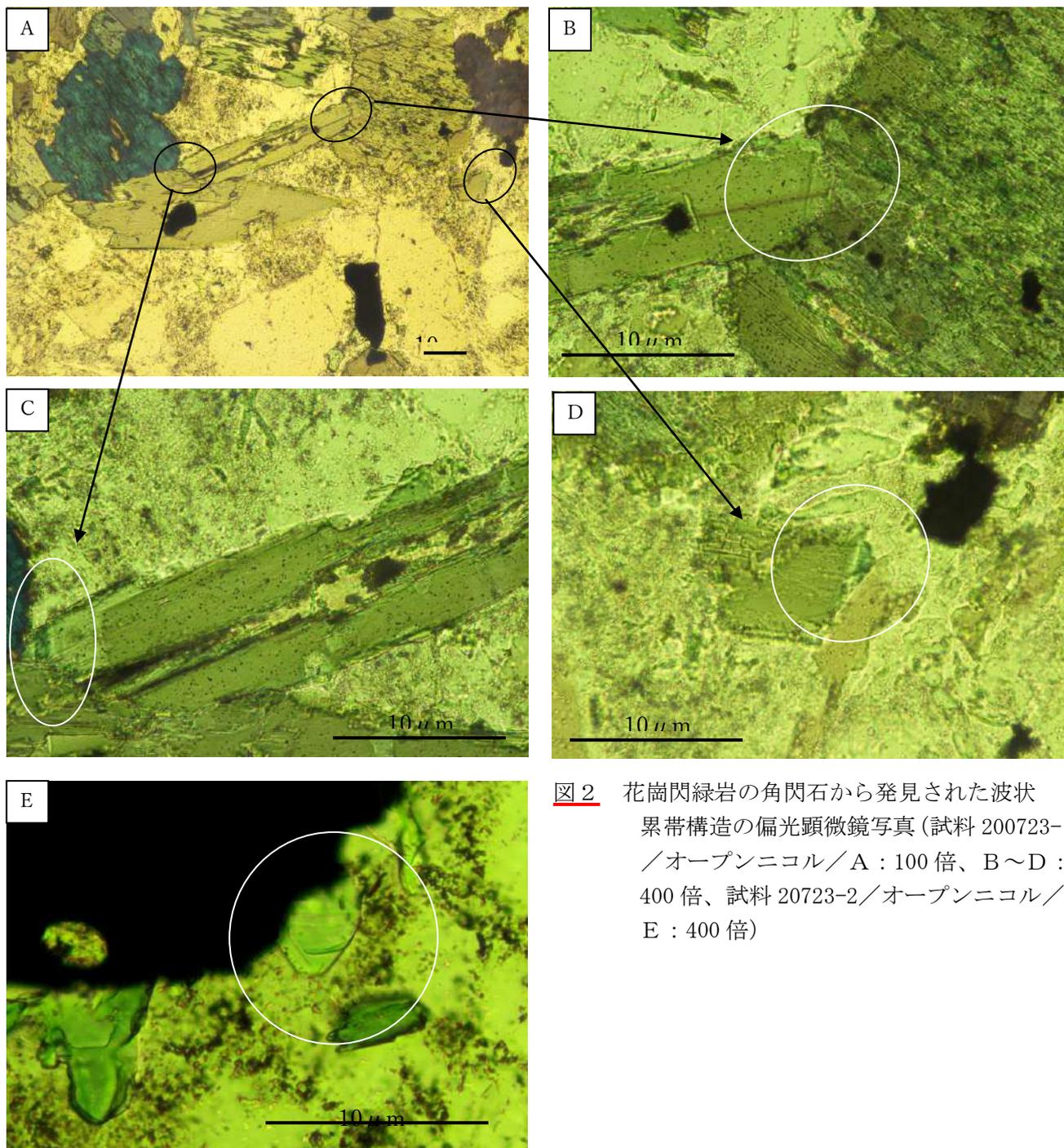


図2 花崗閃緑岩の角閃石から発見された波状累帯構造の偏光顕微鏡写真(試料 200723-1 /オープンニコル/ A : 100 倍、B~D : 400 倍、試料 20723-2 /オープンニコル/ E : 400 倍)

デイサイトの斑晶部分を形成するのは、斜長石やカリ長石、石英と角閃石である。角閃石は他形の破片状で、全体が淡緑色であり、一部は緑泥石化している。角閃石に波状累帯構造は見られない。

#### 4. 考察

角閃石の波状累帯構造は、角閃石が結晶化した後に、マグマに含まれる H<sub>2</sub>O の発泡によって起こった熱水残液の循環の影響によるイオン置換のようすを記録している。今回の研究では、ほぼ同時代に同地域で活動した中性マグマが固結してできた深成岩と火山岩を比較した。本研究で筆者らは、山陽帯の花崗閃緑岩の角閃石から、初めて明瞭な波状累帯構造を確認したことと、同地域に分布する火山岩であるデイサイトの角閃石からは同様の微細構造が発見されないことを合わせて示す。今回発見した花崗閃緑岩

の角閃石に見られる波状累帯構造も、先行研究や顕微鏡観察によって、サブソリダス環境下で形成されたものと考えられる。熱水残液の下で陽イオンの組合せ置換が起こり、その結果波状構造が形成される。

山陰帯の深成岩の角閃石には波状累帯構造が幅広い領域に発達している(図3)。これは、熱水残液が激しく循環したことを示しており(Kawakatsu and Yamaguchi, 1987a)、イオン置換のパターンから酸化的環境であったことが裏付けされている(Kawakatsu and Yamaguchi, 1987b)。これに比べて、山陽帯の深成岩では角閃石の波状累帯構造の発達の程度は低く、熱水残液の循環が山陰帯に比べてずっと弱かったと推定できる。それは山陰帯に比べて山陽帯の花崗岩類を形成したマグマが、深所に貫入して還元的環境下で固結したことを裏付けていると考えられる(Ishihara, 1977、石原, 1982)。深所では発泡による熱水残液が形成されにくい(Kennedy, 1955)。波状累帯構造をもつ角閃石の最外縁部には、酸化的条件の下で形成されるとされる濃緑色リムが形成されており、波状累帯構造が形成される最終段階では、酸化的条件であったことを示している。一方、深成岩に比べて短時間で固結するデイサイトのような火山岩では、熱水残液の循環が微弱である山陽帯の深成岩よりも、さらに熱水残液の循環が起こる可能性が低かったのではないかと考えられる。固結までの時間が短く、また還元的環境であったために、熱水残液が形成されたり循環が起こったりする可能性が低かったのではないか。

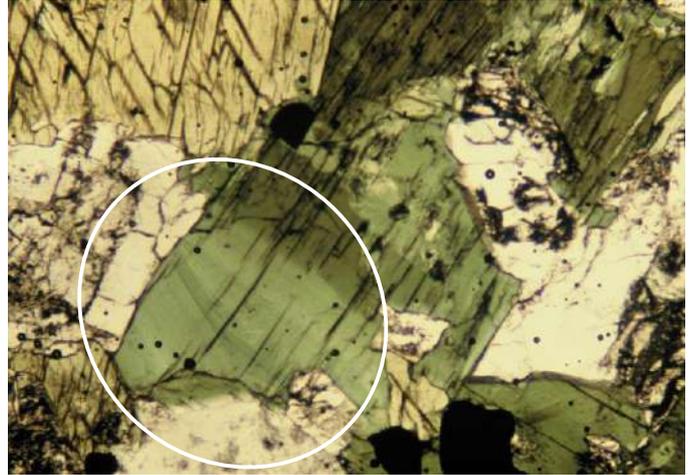


図3 山陰帯大東一横田花崗閃緑岩の角閃石の波状累帯構造(写真の横幅は2mm/川勝和哉, 1989)

マグマから鉱物が晶出後に、その全体が熱水残液などの外的影響によって置換されてしまい、別の鉱物に置き換わってしまうこともあることを考えれば、現在われわれが観察している鉱物は、最初からその鉱物として晶出したのかどうかについて議論しなければ、鉱物の観察によって得られた推測が誤ったものである可能性も出てくるのではないか。

## 5. 今後の課題

本年度もコロナ禍の拡大のため、十分な野外調査をおこなうことができず、もしかすると研究そのものができないのではないかという不安を持ちながらの半年間であった。そのような環境の中でも、山陽帯相生層群のデイサイトと花崗閃緑岩を採取し、花崗閃緑岩の角閃石から波状累帯構造を発見することができた。角閃石の波状累帯構造の組合せ置換のパターンと条件は、Leak (1978) や Czamanske and Wones (1973) によって明らかにされており、今後は、どのような置換が行われているかを EPMA (Electric Probe Micro Analyzer) を用いて明らかにすることによって、サブソリダス環境下で影響を与えた熱水残液の成分と環境の特徴を明らかにしたい。また、波状累帯構造をもつ角閃石と共存する長石や酸化鉱物をもとにして、波状累帯構造を形成した熱水残液の温度や圧力条件を推定したい。

## 6. 謝辞

本研究を行うにあたり、本校科学部顧問の川勝和哉主幹教諭には、考察において有意義な議論をしていただいた。ここに記して謝意を表す。

## 7. 引用文献

Czamanske, G. K. and Wones, D. R. (1973) Oxidation during magmatic differentiation, Finnmarka complex, Oslo area, Norway: Part 2, The mafic silicates. (J. Petrol, 14, 349-380.)

- 兵庫県 (2017) 揖保川水系揖保川圏域河川整備計画 (5-1seibikeikakkuh29.pdf)
- 兵庫県立加古川東高等学校地学部 (2008) 山陽帯チタン鉄鉱系列と山陰帯磁鉄鉱系列のマグマ分化を系統的に説明する—山陽帯加古川市花崗岩類の角閃石とリン灰石から波状累帯構造を発見— (日刊工業新聞社「未来の科学者との対話VI」第6回神奈川大学全国高校生理科・科学論文大賞受賞作品集, Vol. 6, 78-101)
- 兵庫県立加古川東高等学校地学部 (2013) 酸性マグマの分化過程におけるイオウの混染—山陽帯チタン鉄鉱系列花崗岩類と山陰帯磁鉄鉱系列花崗岩類— (日刊工業新聞社「未来の科学者との対話 XI」第11回神奈川大学全国高校生理科・科学論文大賞受賞作品集, Vol. 11, 166-175)
- 兵庫県立姫路東高等学校科学部 (2019) 兵庫県南部姫路市—加古川市の花崗閃緑岩の角閃石から波状累帯構造を発見 (日本地質学会第126年学術大会要旨)
- 兵庫県立姫路東高等学校科学部 (2021) 石英安山岩の角閃石から熱水残液の循環を示す波状累帯構造を発見 (日本地質学会第128年学術大会要旨/第20回神奈川大学全国高校生理科・科学論文大賞努力賞受賞論文)
- Ishihara, S. (1977) The Magnetite-Series and Ilmenite-Series Granitic Rocks (Min. Geol. Tokyo, 27, 293-305)
- 石原瞬三 (1982) 花崗岩系列と鉱化作用 (鉱山地質, 32, 281-283)
- Kawakatsu, K. and Yamaguchi, Y. (1987a) Successive Zoning of Amphiboles during Progressive Oxidation in the Daito-Yokota Granitic Complex, San-in Belt, Southwest Japan. (Geochim. Cosmochim. Acta, 51, 535-540.)
- Kawakatsu, K. and Yamaguchi, Y. (1987b) Microprobe analyses of zoned amphiboles from quartz diorites in the Daito-Yokota granitic complex, San-in belt, southwest Japan. (Geol. Rep. Shimane Univ. 6, 175-183.)
- 川勝和哉 (1989) 西南日本山陰帯のカコウ岩類の角閃石から oscillatory zoning の発見—その形成機構と条件— (兵庫県立西脇高等学校研究紀要, 6, 24-61.)
- Kennedy, G. C. (1955) Some aspects of the role of water in rock melts. (Geol. Soc. Amer. Sp. Paper 62, 489-504.)
- 小出良幸 (2017) マグマ固結過程における火成岩の化学的多様性の形成について (札幌学院大学人文学会紀要, 第102号, 1-29)
- Leak, B. E. (1978) Nomenclature of amphiboles. (Amer. Mineral., 63, 1023-1052.)
- 都城秋穂・久城育夫 (1977) 岩石学III—岩石の成因 (共立出版株式会社)
- Yamaguchi, Y., Akai, J. and Tomita, K. (1978) Clinoamphibole Lamellae in Diopside of Garnet Lherzolite from Alpe Arami, Bllinzona, Swizerland, (Contrib. Mineral. Petrol., 66, 263-270.)
- Yamaguchi, Y., Shibakusa, H. and Tomita, K. (1983) Exsolution of Cummingtonite, Actinolite and Sodic Amphibole in Hornblende in High-Pressure Metamorphism. (Nature, Vol. 314, No. 5923, 257-259.)

# 揖保川花崗閃緑岩の角閃石の微細構造

兵庫県立姫路東高等学校 科学部地学研究部  
高田健吾 本脇敬人 藤盛心実 溝垣月渚 前田隆良 村尾倅生 田村花里奈

キーワード ・熱水残液 ・波状累帯構造 ・サブソリダス環境

## 動機

火成岩の波状累帯構造は、熱水残液の循環の程度とイオンの置換による再均衡のようすを示す指標となる。そこで、山陽帯白亜紀—古第三紀相生層群に属する(兵庫県,2017)花崗閃緑岩とデイサイトの研磨薄片を作成して詳細に観察し、熱水残液の循環が起こったのかどうかを明らかにしたいと考えた。

## 考察

### 深成岩

#### 山陰帯

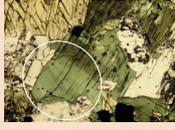
①熱水残液が激しく循環して、波状累帯構造が幅広い領域に発達<sup>9)</sup>。  
→浅所に貫入して熱水残液が形成されやすい**酸化的環境**であった<sup>10)</sup>。

#### 山陽帯

①角閃石の波状累帯構造の発達の程度は低い。  
→熱水残液の循環が山陰帯に比べて弱かった  
→花崗岩類を形成したマグマが、発泡による熱水残液が形成されにくい深所に貫入して**還元的环境**で固結した<sup>7)・8)</sup>。

②波状累帯構造をもつ角閃石の最外縁部には濃緑色リムがみられる

→波状累帯構造が形成される最終段階では、**酸化的環境**であった。



山陰帯大東—横田花崗閃緑岩の角閃石の波状累帯構造(写真の幅は2mm/11)

### 火山岩

深成岩に比べて短時間で固結する

熱水残液の影響が微弱である山陽帯の深成岩より更に熱水残液の循環が起こる可能性が低かったのではないかと推察される。

マグマから鉱物が晶出後に、その全体が熱水残液などの外的影響によって置換されてしまい、別の鉱物に置き換わってしまうこともある。

→現在我々が観察している鉱物は、最初からその鉱物として晶出したのかどうかについて議論する必要がある。

## 岩石記載

兵庫県南西部を南北に流れる揖保川流域の露頭調査を行った。花崗閃緑岩とデイサイトの試料をそれぞれ2地点から採取し、12枚の薄片を作成し偏光顕微鏡で観察した。

### 花崗閃緑岩

→有色鉱物は直径3cm程に集合し、主な有色鉱物は最大8mmの角閃石で、一部が緑泥石化している。無色鉱物は最大10mm程の斜長石と5mm程の石英が中心である。モード組成は石英20.9、カリ長石4.6、斜長石59.5、角閃石12.6。

### デイサイト

→弱い流理構造がみられるが、熱水脈はない。長さ2mm~3mm程、最大8mmの石英や斜長石の斑晶が見られる。有色鉱物の斑晶は確認できない。斑晶は、斜長石20.3%、角閃石6.3%、不透明酸化鉱物3.1%。

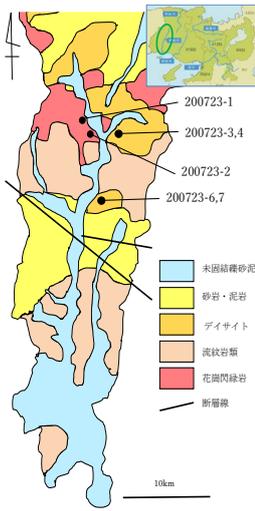


図1 調査地域の地質図と試料採取地点

## 角閃石の波状累帯構造

花崗閃緑岩の角閃石から**微弱な波状累帯構造を発見**。

デイサイトからは波状累帯構造は**全く発見されない**。

### 花崗閃緑岩の波状累帯構造

- 約1μm程の幅の細い帯がみられる。
- 角閃石は自形~半自形
- 淡褐色のコアと淡緑色のリムからなるものや、全体が淡緑色のものがある
- 二次的に再平衡して形成されたとされる淡緑色リムから発見され、淡褐色コアからは発見されない(図2)。
- 最外縁部に濃緑色のゾーンを持つもの複数みられる
- 波状累帯構造を持つ角閃石は、1箇所に集合している
- 角閃石は斜長石やカリ長石と隣接しており、淡緑色リム部には酸化鉱物が包有されている。

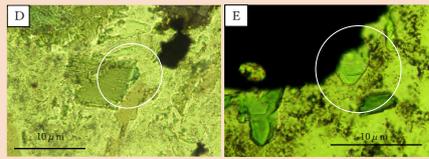
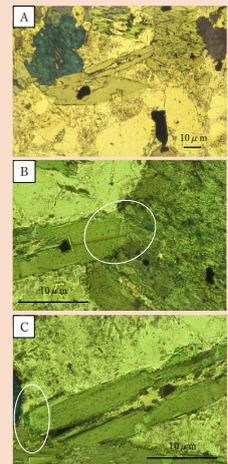


図2 花崗閃緑岩の角閃石から発見された波状累帯構造の偏光顕微鏡写真(試料200723-1/オープンニコル/A:100倍、B~D:400倍、試料20723-2/オープンニコル/E:400倍)

## 今後の課題

- 角閃石の波状累帯構造の組合せ置換のパターンと条件は、1)や、14)によって明らかにされており、どのような置換が行われているかをEPMA分析することによって、サブソリダス環境下で影響を与えた熱水残液の成分と環境の特徴を明らかにしたい。
- 波状累帯構造をもつ角閃石と共存する長石や酸化鉱物をもとにして、波状累帯構造を形成した熱水残液の温度や圧力条件を推定したい。

## 謝辞

本研究を行うにあたり、本校科学部顧問の川勝和哉主幹教諭には、考察において有意義な議論をしていただいた。ここに記して謝辞を示す。

## 引用文献

1. Czamanske, G.K. and Wones, D.R. (1973) Oxidation during magmatic differentiation, Finnmarka complex, Oslo area, Norway: Part 2, The mafic silicates. (J. Petrol., 14, 349-380.)
2. 兵庫県 (2017) 揖保川水系揖保川圏域河川整備計画 (5-1seibeikakku29.pdf)
3. 兵庫県立加古川東高等学校地学部 (2008) 山陽帯チタン鉄鉱系列と山陰帯磁鉄鉱系列のマグマ分化を系統的に説明する—山陽帯加古川市花崗岩類の角閃石とリン灰石から波状累帯構造を発見—(日刊工業新聞社「未来の科学者との対話VI」第6回神奈川大学全国高校生理科・科学論文大賞受賞作品集, Vol.6, 78-101)
4. 兵庫県立加古川東高等学校地学部 (2013) 酸性マグマの分化過程におけるイオウの混染—山陽帯チタン鉄鉱系列花崗岩類と山陰帯磁鉄鉱系列花崗岩類—(日刊工業新聞社「未来の科学者との対話XI」第11回神奈川大学全国高校生理科・科学論文大賞受賞作品集, Vol.11, 166-175)
5. 兵庫県立姫路東高等学校科学部 (2019) 兵庫県南部姫路市—加古川市の花崗閃緑岩の角閃石から波状累帯構造を発見 (日本地質学会第126年学術大会要旨)
6. 兵庫県立姫路東高等学校科学部 (2021) 石安山岩の角閃石から熱水残液の循環を示す波状累帯構造を発見 (日本地質学会第128年学術大会要旨/第20回神奈川大学全国高校生理科・科学論文大賞賞力賞受賞論文)
7. Ishihara, S. (1977) The Magnetite-Series and Ilmenite-Series Granitic Rocks (Min. Geol. Tokyo, 27, 293-305)
8. 石原謙三 (1982) 花崗岩系列と鉱化作用 (鉱山地質, 32, 281-283)
9. Kawakatsu, K. and Yamaguchi, Y. (1987a) Successive Zoning of Amphiboles during Progressive Oxidation in the Daito-Yokota Granitic Complex, San-in Belt, Southwest Japan. (Geochim.Cosmochim.Acta, 51, 535-540.)
10. Kawakatsu, K. and Yamaguchi, Y. (1987b) Microprobe analyses of zoned amphiboles from quartz diorites in the Daito-Yokota granitic complex, San-in belt, southwest Japan. (Geol. Rep. Shimane Univ. 6, 175-183.)
11. 川勝和哉 (1989) 西南日本山陰帯のコウヤ岩類の角閃石からoscillatory zoningの発見—その形成機構と条件—(兵庫県立西脇高等学校研究紀要, 6, 24-61.)
12. Kennedy, G.C. (1955) Some aspects of the role of water in rock melts. (Geol.Soc.Amer.Sp.Paper 62, 489-504.)
13. 小出良幸 (2017) マグマ固結過程における火成岩の化学的多様性の形成について (札幌学院大学人文社会紀要, 第102号, 1-29)
14. Leak, B.E. (1978) Nomenclature of amphiboles. (Amer.Mineral., 63, 1023-1052.)
15. 都城秋穂・久城育夫 (1977) 岩石学Ⅲ—岩石の成因 (共立出版株式会社)
16. Yamaguchi, Y., Akai, J. and Tomita, K. (1978) Clin amphibole Lamellae in Diopside of Garnet Lherzolite from Alpe Arami, Blinznova, Switzerland. (Contrib.Mineral.Petrol., 66, 263-270.)
17. Yamaguchi, Y., Shibakusa, H. and Tomita, K. (1983) Exsolution of Cummingtonite, Actinolite and Sodic Amphibole in Hornblende in High-Pressure Metamorphism. (Nature, Vol.314, No.5923, 257-259.)



本研究は、日本農芸化学会2022年度大会（京都）における「ジュニア農芸化学会」（発表は新型コロナウイルス感染症対策のためオンライン形式で実施）に応募された研究のうち、本誌編集委員会が優れた研究として選定した6題の発表のうちの一つです。

## サボテンの刺座の配列は規則的なのか

兵庫県立姫路東高等学校科学部生物系研究部（サボテン班）

岸上菜菜, 前田智彦, 本脇敬人, 吉田龍之介, 藤田詩桜, 村瀬太郎, 大和 司（顧問：川勝和哉）

筆者らは10品種のサボテン刺座の配列を、真上と真横から見た座標で調べた結果、個体ごとに刺座の配列は異なっていた。本結果を受け、外形が円柱形で刺座配列に規則性があるように見えるプリンチュウに研究対象を絞った。個体ごとの歪みの補正を行うと、刺座が頂点から左右に螺旋を描いて共有刺座で交差しながら下方に配列しており、プリンチュウ固有の螺旋方程式で示すことができることを明らかにした。本結果により、他のサボテン種でも刺座の配列を螺旋方程式で説明できる可能性を示した。

### 研究の目的

学校の研修で筑波実験植物園を訪問した際、温室内に展示されている複数の品種において、サボテンの刺座の配列を観察したところ、螺旋を描いて配列しているように見受けられた。実際多くの植物において、規則的な配列が確認されている。ヒマワリの種はフィボナッチ数列に従って配列している<sup>1)</sup>。また荒谷ほかは、ダイオウマツとアカマツ、クロマツとの比較において、いずれも松穂の鱗片は根元から螺旋を描いて配列しており、左回りに5枚と右回り8枚の鱗片で同じ鱗片（共有鱗片）で交差すること、ダイオウマツとアカマツ、クロマツで鱗片が描く螺旋の方程式が異なることを示している<sup>2)</sup>。そこで、まだ研究されていない、サボテン品種の刺座の配列に着目した研究を行うことにした。サボテンの刺座の配列を調べて、螺旋方程式で示すことができるような規則性がないかどうか、品種ごとに比較することを目的とした。

#### 1. 10品種のサボテン刺座の配列の座標測定

以下に示す10品種のサボテンを測定対象とした。プリンチュウ (*Pachycereus pringlei*)、キンコウマル (*Parodia leninghausii*)、キンセイカク (*Pilosocereus pachycladus*)、クロエボシ (*Opuntia rubescens*)、ライ

チョウマル (*Mammillaria jonstonii* var. *sancarlensis*)、ダイフクマル (*Mammillaria perbella*)、ムラサキタイヨウ (*Echinocereus rigidissimus* var. *rubescens*)、シンテンチ (*Gymnocalycium saglionis*)、フクロクリュウジンボク (*Myrtillocactus geometrizans*)、エイカンマル (*Notocactus magnificus*)。

サボテンを真上から見たときの軸の中央部の頂点を原点とし、原点と1つ目の共有刺座を結ぶ線分をx軸、これに直角な線分（鉛直面）をy軸とし、原点と1つ目の共有刺座間の距離を1として、左回りと右回りに、それぞれの刺座の位置の座標と刺座間の角度 $\theta$ を求めた。また、サボテンを真横から見て、頂点（原点）から真下に伸ばした直線をz軸とし、刺座の高さを個体の最下部の刺座まですべて測定した（図1）。その結果、個体によって刺座数は異なっていることが明らかとなった。

測定した座標から、n本目の刺座における螺旋方程式を、左回りと右回りのそれぞれで求めた。x-y平面では、半径r、中心角 $\theta$ とすると、プリンチュウの場合、上方から下方に向けて半径rも中心角 $\theta$ も大きくなっていき、極方程式 $r=a\theta$ と示された（アルキメデスの螺旋）。極方程式は、x-y平面における螺旋の形を表している。高さ方向については、下方の刺座ほど高さzは小さくなり、 $z=bn$ と表せる。この2つを合わせて螺旋方程式という。

刺座ごとのaの値をそれぞれのrと $\theta$ の値から求め、すべての刺座のaの値の近似曲線を引いてaの値を求めた。bは刺座ごとの高さzを、共有刺座までの高さを1として、すべての刺座のbの値の近似直線を引いて求めた。

測定の結果、同じ種であっても刺座の配列は個体によって異なっており、一つの方程式として示すことができるような規則性を示さなかった。

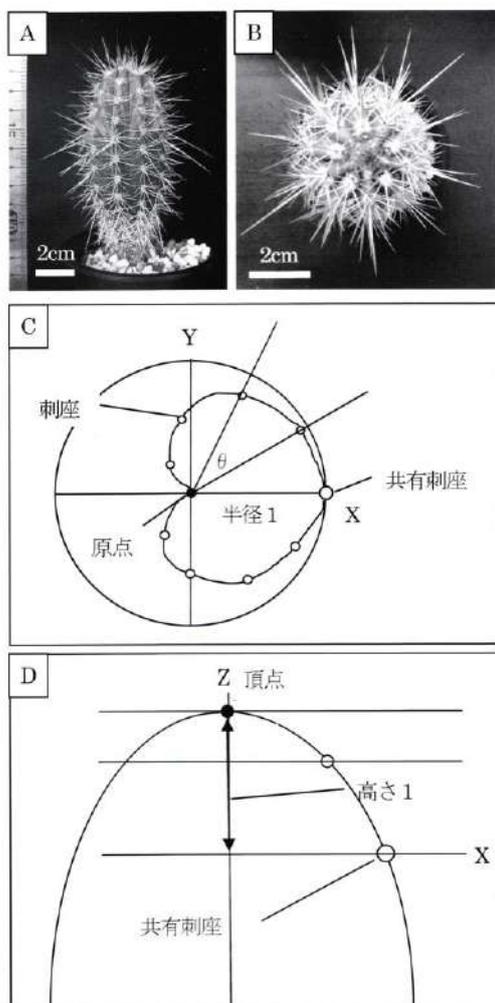


図1 ■ 刺座の水平面および鉛直面の位置の測定  
 A: 横から見たプリンチュウ。B: 上から見たプリンチュウ。C: 上から見た刺座配列の模式図。D: 横から見た刺座配列の模式図。

## 2. プリンチュウの刺座配列の歪みの測定

規則性を示さないのは、個々のサボテンの歪みを考慮していないからではないかと考え、外形が円柱形で刺座配列に規則性があるように見えるプリンチュウに着目して歪みを測定した。原点と第1刺座を結ぶ直線を引き、それを下方に延長する。第2刺座以降、この直線から左右にずれがある場合、その距離 (mm) を測定して、実際の刺座の位置を水平方向に移動させて補正し、これを本来の理想的な配置として、刺座配列の規則性の有無をプリンチュウ8個体で測定した。青丸の座標の刺座が右

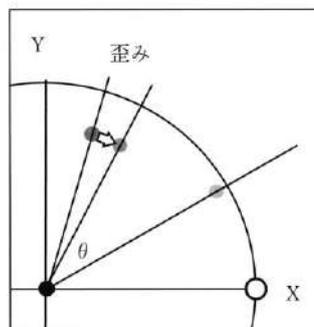


図2 ■ 歪みの修正

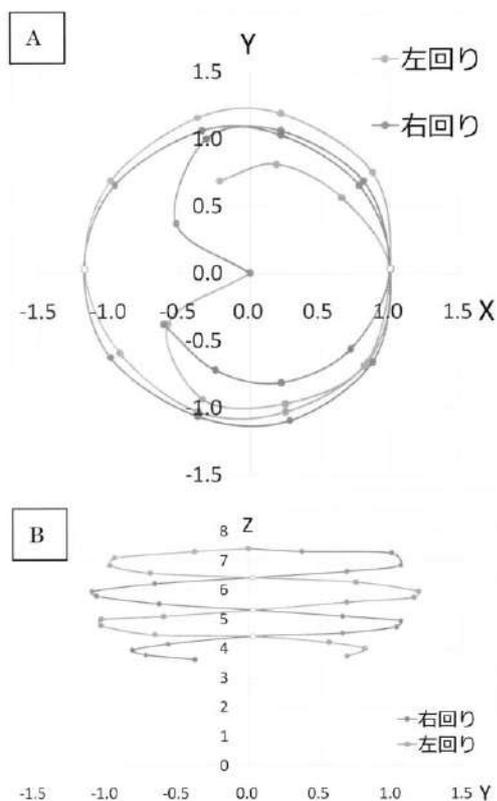


図3 ■ プリンチュウ1の歪みを補正した刺座配列  
 A: 上から見た図。B: 横から見た図。軸は図1と同じ。

側に歪んでいれば、軸を中心として左方向に赤丸の座標へ修正する (図2)。これによって、隣接する緑丸との中心角 $\theta$ の値が小さくなり、それに伴ってこの刺座の $a$ の値も変化する。

### 3. 結果と考察

図3に、例として、歪みを補正したプリンチュウ1の刺座配列を示す。プリンチュウ1の刺座は17であるが、個体によって刺座の数は異なっていた。刺座は上方中央の頂点(原点)から、左回りと右回りに螺旋を描いて配列し、共有刺座で出会いながら下方に伸びていることが判明した。

プリンチュウ1を例にとると、 $n=2$ のときの刺座の座標の測定値 $a, b$ と、歪みの値をもとにして $x-y$ 平面上で座標を修正した $a$ の値は表1のとおりである。

すべての刺座の測定値 $a, b$ を用いてプリンチュウ1の刺座座標の近似値を求めると $a$ の値に違いが生じるが、歪みを修正した $a$ の値を用いるとよく一致する(表2)。

試料として用いたプリンチュウ8個体は、大きさもまちまちで、左回りと右回りの刺座の数もばらばらである。それぞれの個体について、歪みを修正した左回りと右回りのすべての刺座をまとめてグラフにプロットすると、ともによく似た傾向を示す。プリンチュウ8個体のすべての刺座の $a$ の近似曲線および $z$ の近似直線を引くと、 $a=0.0114e^{-0.127n}$ 、 $b=-0.1757$ となる(図4)。

このことから、プリンチュウ種を表す螺旋方程式は以下のように表すことができる。

$$r=0.0114e^{-0.127n}\theta \quad z=-0.1757n$$

#### 本研究の意義と展望

サボテンの刺は葉が変化して形成されたものである。本研究では、ヒマワリの種や松穂の鱗片の配列と同様に、プリンチュウの刺座の配列には規則性があり、本品種の刺座の配列を螺旋方程式で表わすことができることを示した。今後は、他のサボテン品種でも同様の研究を行い、螺旋方程式の $a$ および $b$ を比較することによって、今回の螺旋方程式の $a$ と $b$ がプリンチュウという種を特徴的に表すものかどうかについて検証する必要がある。将来的には、さらに測定方法を改善し、さまざまなサボテンの純系品種についての螺旋方程式を求め、系統樹上の距離との関係の有無についても明らかにしていきたいと考えている。

表1 ■ プリンチュウ1の $n=2$ の測定値と、歪み修正値

	測定値	修正値
左回り	$a=0.012 \quad b=-0.202$	$a=0.013$
右回り	$a=0.012 \quad b=-0.205$	$a=0.013$
歪み	2.84 mm	0

表2 ■ プリンチュウ1のすべての刺座の測定値を基にした $a, b$ の近似値と修正した $a$ の近似値

	測定値	修正値
左回り	$a=0.0139e^{-0.146n} \quad b=-0.2023$	$a=0.0146e^{-0.145n}$
右回り	$a=0.0139e^{-0.144n} \quad b=-0.2052$	$a=0.0148e^{-0.145n}$

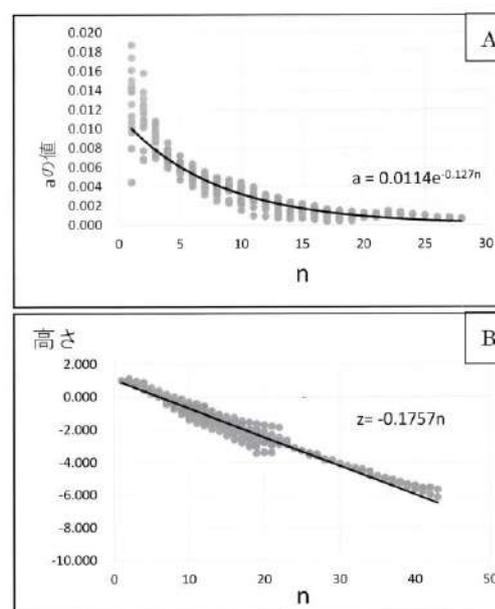


図4 ■ プリンチュウ8個体の左回りと右回りのすべての刺座の座標をまとめたもの

A: aの値, B: bの値.

#### 文献

- 1) 東川和夫: “フィボナッチ数列と黄金比—ひまわりの種の配列—”, 話題源数学, 東京法令, 1989, pp. 356-359.
- 2) 荒谷優太, 石田 薫, 北野彩華, 平岩尚樹, 廣瀬友佳, 赤塚千春, 河内 遼, 中川潤哉, 山本彩楓: 化学と生物, 52, 555 (2014).

---

# Disaster Prevention Education: Combining Scientific Understanding of Disasters with Knowledge of Disaster Mitigation Strategies

K. KAWAKATSU<sup>1</sup>, K. KISHIGAMI<sup>1</sup>, M. SHIMURA<sup>1</sup>, K. SUGAWARA<sup>1</sup>

(1. Hyogo Prefectural Himeji Higashi Senior High School, Japan)

**Abstract:** Himeji Higashi High School is located near the epicenter of the 1995 Southern Hyogo Earthquake. The occurrence of these tragedies stresses the necessity to scientifically understand disasters and develop and implement disaster prevention actions at both the individual and societal levels. It is our belief that we cannot properly prepare for or mitigate disasters without understanding how and why they occur. Such knowledge is gained through Earth science education, which synthetically interweaves all three natural sciences to facilitate a deeper theoretical comprehension of natural disasters. Himeji Higashi's Super Science High School program aims to provide interdisciplinary scientific education to foster students' comprehensive understanding of natural phenomena and consolidate their related learning. Students learn by selecting specific subjects of disaster prevention and mitigation to study. In addition, students understand the mechanisms of natural disasters in class and experience disasters through museum training. A questionnaire was administered to the students upon completion of the program. The results showed that the program is promising and may have had a positive impact on students. More than 85% of students were satisfied with our educational program, and we can expect that they will understand nature and work for disaster prevention and mitigation themselves.

**Key words:** Southern Hyogo Earthquake, Natural Science, disaster prevention, disaster mitigation

## 1. Introduction: The Need for the Theoretical Understanding of Disaster Prevention

Himeji Higashi High School is located near the northern tip of Awaji Island, which was the epicenter of the Southern Hyogo earthquake (i.e., commonly the Hanshin-Awaji earthquake). This earthquake occurred at 5:46 AM on January 17, 1995, killing 6,434 people. It caused widespread devastation, particularly in the built-up urban areas of Kobe city, such as Sannomiya or Motomachi (Figure 1). However, as years passed, the lessons learned were forgotten to the point that interest in disaster prevention is waning, especially in generations that have never experienced such disasters.

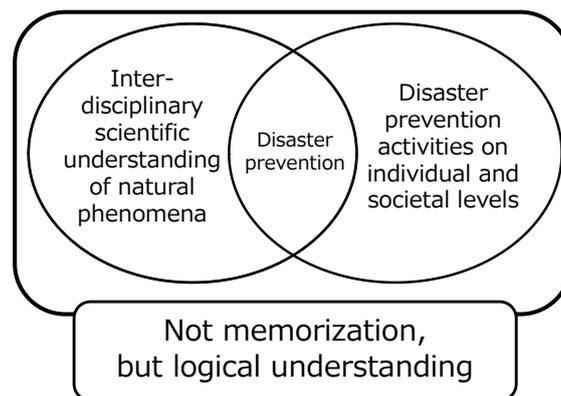
Japan's disaster prevention and mitigation education is only briefly addressed in Earth science textbooks, and only touches on advance preparation and actions to take in the event of a disaster. This kind of education, which does not cover the mechanisms by which disasters occur, produces students who fear nature. Moreover, not all students study Earth science as a mandatory subject in Japan. However, disaster victims point out that it is



**Figure 1. Images of the devastation in Kobe city**

important to understand and coexist with nature to prevent and mitigate disasters.

Therefore, the authors believe that successful disaster prevention and mitigation involves developing a scientific understanding of the natural world and the mechanisms at play in disasters (Figure 2). Based on this, stakeholders can then undertake the vital process of developing, refining, implementing, and practicing disaster prevention and mitigation strategies at both the individual and societal levels.



**Figure 2. Concepts necessary for disaster prevention education**

Natural disasters, including earthquakes and typhoons, occur at a high frequency in Japan, and students are taught how to prepare for and respond to them. This education includes practical measures, such as preparing disaster stocks and teaching students how to understand hazard maps, evacuation routes, among others. Meanwhile, Earth science education weaves natural sciences (i.e., chemistry, physics, and biology) to provide students a deeper understanding of the Earth and its natural disasters. However, few students study Earth science as it is not a widely offered subject. Furthermore, many students do not have the opportunity to study all natural sciences (chemistry, physics, and biology). Japan students cannot freely select natural science courses because their curricula already involve many compulsory subjects. To address the situation, Himeji Higashi High School has implemented a new curriculum to promote a deeper interdisciplinary understanding of the natural world. The current report is a part of various efforts to disseminate the results of this endeavor to wider audiences.

## 2. Synthetical Understanding of Natural Sciences in Earth Science

Our school has been designated as a Super Science High School since April 2020 by the Science and Technology Council of the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (2009). The Super Science High School program targets the development of science, technology, engineering, the arts, and mathematics (also known as STEAM) subjects by funding and implementing advanced programs to develop the ability, creativity, and originality of each student covered by the program. Himeji Higashi High School’s particular focus is International Activities centered on Earth Science (Figure 3).

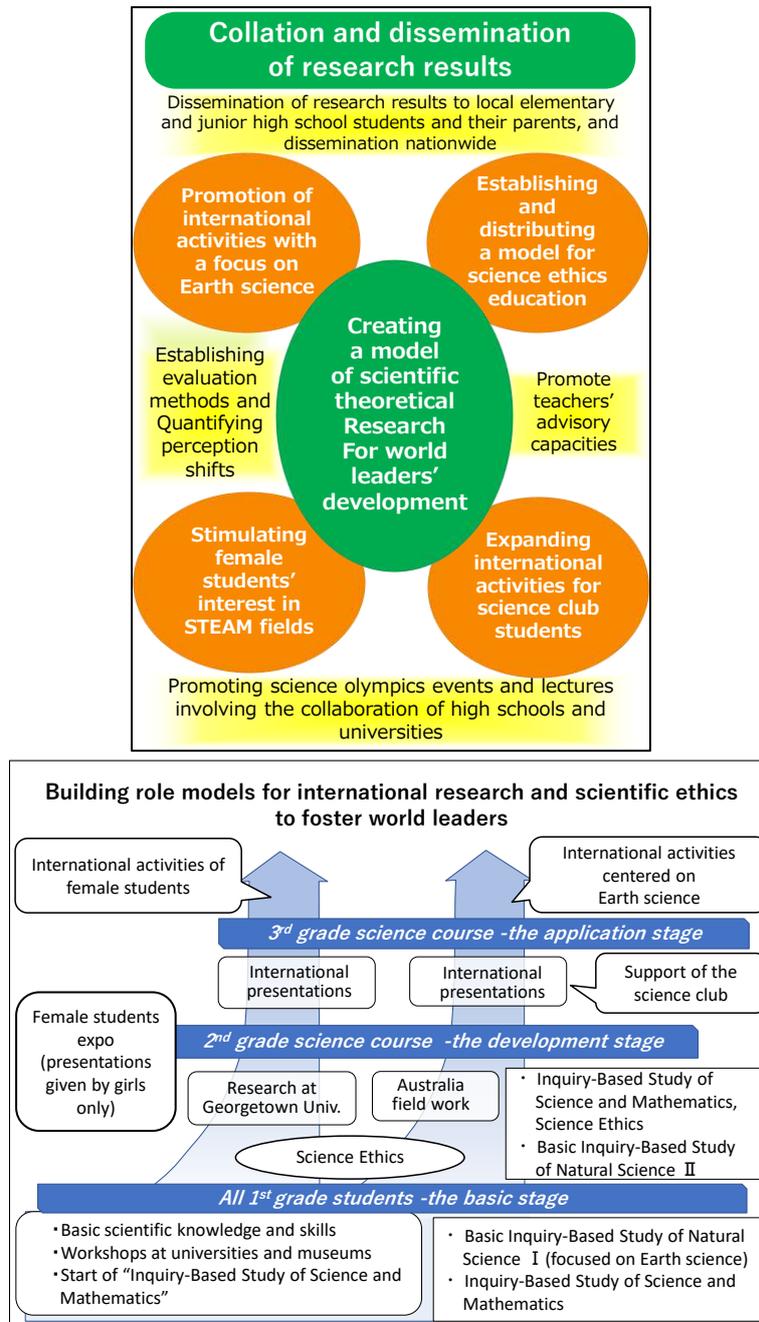
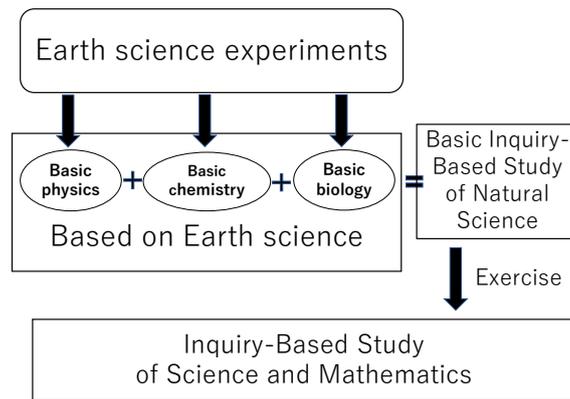


Figure 3. Super Science High School research and development

Our school independently began conducting the “Basic Inquiry-Based Study of Natural Science” and “Inquiry-Based Study of Science and Mathematics” courses to promote comprehensive learning across the four fields of science (chemistry, physics, biology, and Earth science) with a particular focus on Earth science, and help students understand natural phenomena and disasters (Figure 4).



**Figure 4. Class development**

Through these two courses, students develop logical thinking (e.g., hypothesis formation and deductive reasoning) and the ability to use, present, and analyze data objectively through appropriate use of statistics and probability laws. Presentation and communication abilities in both Japanese and English are also refined, so that students can learn how to effectively relay their ideas to others and discuss and debate ideas.

The following example serves to illustrate the goal of this curricula to combine the study of natural sciences and synthesize a deeper understanding of a topic. In physics classes, students conduct experiments that help them understand the roles of gravitational and rotational forces in forming the Earth as an oblate spheroid. In classes on radioactivity, radioisotopes, half-lives, and decay mechanisms, students are taught the concepts of absolute and relative ages; for example, by measuring the half-lives of radioactive isotopes contained in rocks, we can determine how many years ago the rocks solidified. In biology classes on species evolution and the environment, students examine fossils and conduct literature reviews to learn about prehistoric species and their various paleoenvironments. While studying atoms and molecules in chemistry classes, students also learn about the crystal structures of minerals, how they are created, transformed, and destroyed, and observe minerals using polarizing microscopes to learn more about how initial conditions affect their properties, such as their crystal form and color. They also use polarizing microscopy to observe and learn more about minerals.

In addition to natural science, students must understand mathematics for objective evaluation, possess logical English skills, and develop their communication skills. In mathematics class, students learn statistics and vector equations. In English classes, students read previous research in various fields and discuss findings with each other, and in communication classes, students acquire skills for presentations. In this way, students engage with many subjects to understand nature, and the basis of these subjects is the study of Earth science. To achieve this, teachers from different specialties form teams to create syllabi and work on their lessons (Figure 5).



**Figure 5. Interdisciplinary team teaching**

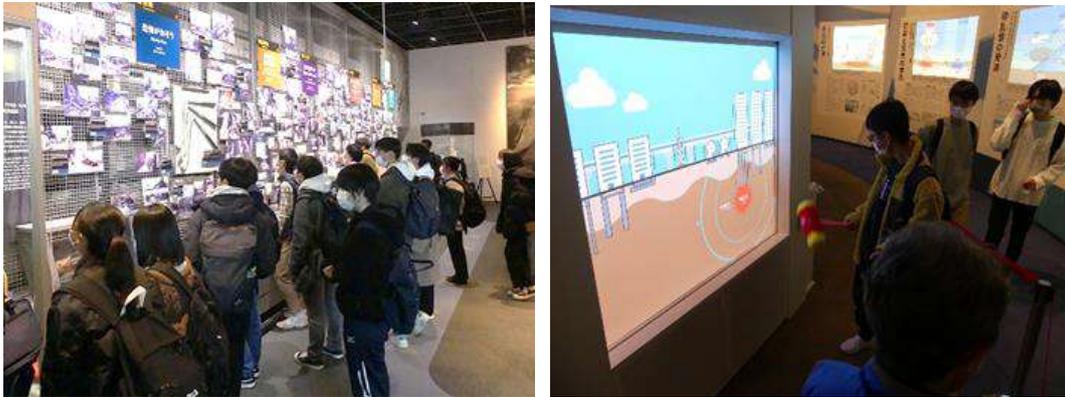
### **3. Hands-On Experience to Consolidate Learning**

For inexperienced students, it is important to “visit the site” and “touch the real thing” in order to develop a connection with natural sciences. To learn about dinosaurs in a biological evolution class is a very different experience from seeing a skeleton of one and wondering what kind of world it lived in. In the “Basic Inquiry-Based Study of Natural Science” course, students go out and get hands-on experience of Earth sciences and are provided with special lectures and workshops that help to consolidate in-school learning.

In 2021, students visited the Hokudan Earthquake Memorial Park Nojima Fault Preservation Museum and the Disaster Reduction and Human Renovation Institute to learn about disaster prevention, reduction, and mitigation (Figure 6). The Nojima Fault Preservation Museum houses a visible section of the Nojima Fault, which was responsible for the 1995 Southern Hyogo Earthquake and was designated a “special natural monument” by the International Union of Geological Science. Students could not only see and touch a part of the fault line but also observe examples and records of the devastation caused by the earthquake, as well as get a better grasp of the mechanisms that caused the event. At the Disaster Reduction and Human Renovation Institute, students learned in more detail the causes and consequences of the Southern Hyogo Earthquake and could view and handle artifacts from the disaster (Figure 7). Before visiting the museum, teachers always study in advance to narrow down the points for observation and experimentation. After the visit, students are required to submit a detailed report on concepts learned.



**Figure 6. At the Hokudan Earthquake Memorial Park Nojima Fault Preservation Museum**



**Figure 7. At the Disaster Reduction and Human Renovation Institute**

Students also visited the National Museum of Nature and Science and the National Museum of Emerging Science and Innovation (Miraikan) to broaden their knowledge in various fields of science. The National Museum of Nature and Science is one of the largest science museums in Japan, containing a vast collection of tangible examples of natural science, history, and science technology (Figure 8). Meanwhile, Miraikan is one of the largest engineering museums in Japan, with extensive exhibitions primarily concerning the relationship between science and society, and aspects of scientific ethics (Figure 9).



**Figure 8. At the National Museum of Nature and Science**



**Figure 9. Training at the National Museum of Emerging Science and Innovation (Miraikan)**

The in-person education is not limited to receiving special lectures and workshops to improve theoretical understanding, but also includes practical field work. As an example, students visit and conduct geological surveys at the San'in Geopark World Heritage site, known for its outcrops where geological structures and rock consolidation can be clearly observed (Figure 10).



Figure 10. At the Genbudo cave in San'in Geopark

#### 4. Evaluation of Progress to Date and Future Tasks

Considering that the program is still too novel to produce statistically meaningful effects in students' achievement grades, to evaluate students' response to these curricula and field trips, surveys were conducted (Figure 11).

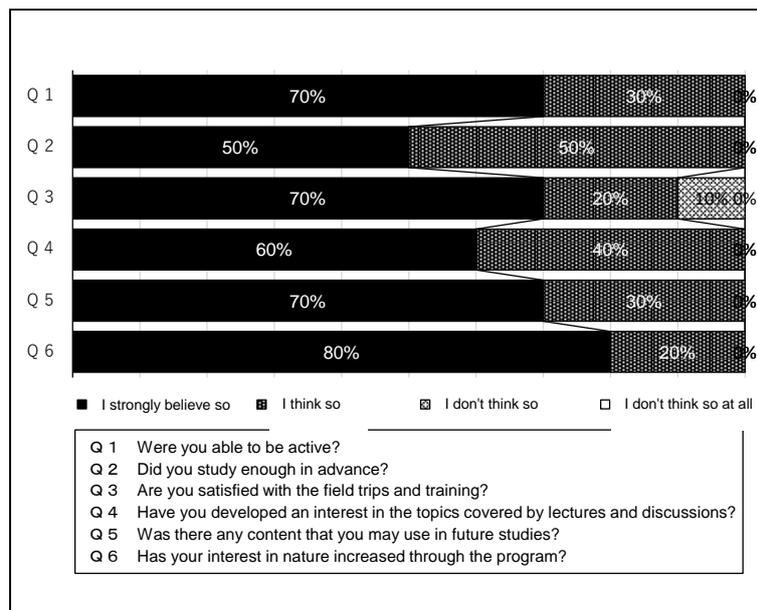
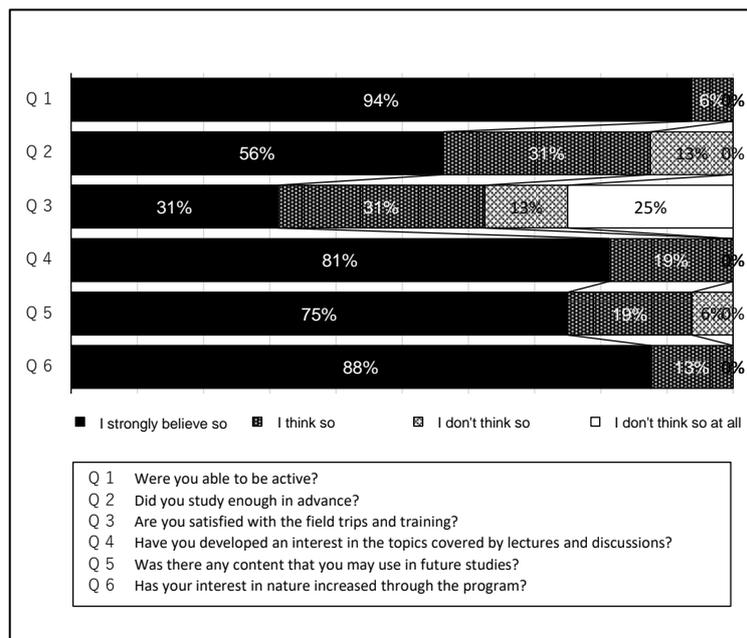


Figure 11. Aggregate results of student responses to the questionnaire on the “Basic Inquiry-Based Study of Natural Science”

The following are some of the comments submitted by students (Himeji Higashi Senior High School 2020):

- “In addition to acquiring knowledge in individual fields, I was able to understand the importance and difficulty of understanding nature as a whole.”
- “I think it is important to have a broad understanding of nature in order to question the ‘why’ and ‘what’ about all things, and to thoroughly investigate these questions.”
- “I comprehended well the intention of understanding nature based on Earth science.”
- “If my research is based on one specialized field, I will lose my awareness of the relationship between the natural sciences and society.”

These comments and the results presented in Figure 11 show an overall favorable attitude toward the course and field trips. Many students commented that they were able to see the deep connections between different fields of science. Figure 12 summarizes the results of a student questionnaire regarding the museum trips. More than 85% of students acknowledged the trips’ effectiveness and commented that they wished they had spent more time at the sites.



**Figure 12. The results of a student questionnaire regarding the museum trips**

The following are some of the students’ impressions of the trips:

- “I was able to rediscover things that I didn’t know deeply until now, such as the mechanism of earthquakes.”
- “Looking at the fault that runs through the site of the house, I felt the unstoppable threat of nature, and at the same time, I learned that disaster mitigation is possible with appropriate measures.”
- “One thing that left an impression on me in the stories of the victims was the words, ‘It is important to be more in tune with nature’.”
- “For me, who thought that disaster prevention was about how to conquer nature, it was shocking to hear that harmoniously coexisting with nature would lead to disaster prevention.”

The results show that our school’s efforts may have had a significant effect on student learning. For teachers

to be able to integrate four fields of science (i.e., chemistry, physics, biology, and Earth science) and understand nature comprehensively, varied, cross-disciplinary knowledge is needed. Many teachers in Japan study at universities to specialize in specific subjects, such as chemistry or physics, and are hired to teach specific subjects. Therefore, it is difficult for many teachers to understand and teach the natural sciences from a broad perspective. The authors will continue their efforts to overcome various issues in nature education that remain, and endeavor to disseminate the results of our school's efforts to the whole of Japan. The results introduced here will be reported to the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology and may have a significant impact on Japan's future education policies.

## **5. Acknowledgements**

Professor Norihito Kawamura of the University of Hyogo Graduate School gave us the opportunity to present this research. Dr. Kenichiro Hisada, a former professor at the University of Tsukuba, was a key advisor in the development of the syllabus. Himeji Higashi High School is deeply grateful to both. We would like to thank Editage ([www.editage.com](http://www.editage.com)) for English language editing. This article is based on a presentation given at the 9th International Conference on Geoscience Education (IX GeoSciEd) on August 24, 2022.

## **References**

Science and Technology Council of the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology. (2009). 第4期科学技術基本計画報告書 [4th Science and Technology Basic Plan Report].

令和4年度の活動一覧

行事の名称	発表日程	会 場	成果
日本地球惑星科学連合2022	5月22日	ZOOM	マグマ班努力賞、逆ムベンバ班努力賞
グローバルサイエンスキャンパス SEEDS	6月12日	大阪大学	2名合格
”越える”力を育む国際的科学技術人材育成プログラムROOT	7月9日、10日、17日選考会	ZOOM	1名合格
8th Science Conference in Hyogo	7月18日	神戸大学	
わくわく実験教室	7月25日	本校	
令和4年度SSH生徒研究発表会	8月3日 一次審査 8月4日 二次審査	神戸国際展示場	逆ムベンバ班がポスター発表賞
科学部野外研修	8月16日～18日	福井県立恐竜博物館 白山恐竜パーク白峰 桑原化石壁露頭	希望科学部員25名
The 9th International Conference on Geoscience Education (GeoSciEd IX)	8月24日	島根県コンベンションセンター 「くにびきメッセ」	国際学会発表後、国際学会誌に掲載 Journal of Modern Education review
第129年日本地質学会学術大会 東京・早稲田大会	9月10日	ZOOM	マグマ班奨励賞 (3位)
日本動物学会第93回大会	9月10日	早稲田大学早稲田キャンパス	高校生ポスター賞
日本植物学会第86回大会	9月17日	京都府立大学下鴨キャンパス	
希望者東京博物館研修	9月30日～10月2日	国立科学博物館 日本未来科学館	希望生徒25名参加
第66回日本学生科学賞	10月13日	青少年科学館	
TAMAサイエンスフェスティバル in TOYAKU 2022	10月30日	ZOOM	ニハイチュウ、サボテン、金平糖3班敢闘賞
五国SSH事業 数学に関する発表会	11月5日	県立龍野高等学校	サボテン班発表
第95回日本生化学会大会	11月11日	名古屋国際会議場	ニハイチュウ銅賞 (3位)
第46回兵庫県高等学校総合文化祭自然科学部門	11月4日～6日	青少年科学館	磁性流体班物理分野最優秀賞 (全国大会へ) ニハイチュウ班優良賞・パネル発表優秀賞 マグマ班優良賞
日本動物学会近畿支部研究発表会	11月12日	ZOOM	ニハイチュウ班優秀賞 (2位)
第13回東京理科大学「坊っちゃん科学賞」研究論文コンテスト	11月13日	ZOOM	シジミ班優秀賞、サボテン班優良賞 逆ムベンバ班優良賞、マグマ班入賞
第20回高校生・高専生科学技術チャレンジ (JSEC2022)	11月中旬1次審査会	論文をアップデート	サボテン班入選 (1次審査通過)
神戸大学高校生・私の科学研究発表会2022	11月23日	ZOOM	サボテン班奨励賞
第45回日本分子生物学会	12月2日	幕張メッセ	
兵庫県南部地震と防災研修 (自然科学探究基礎 I)	12月8日	野島断層保存館 人と防災未来館	1年次全員
第21回神奈川大学全国高校生理科・科学論文大賞	12月15日	論文をアップデート	サボテン班努力賞
第17回筑波大学「科学の芽」賞	12月17日	筑波大学	金平糖班奨励賞 (2位) 磁性流体班とサボテン班努力賞 (3位)
第15回日本地学オリンピック大会予選	12月18日	WEB受験	22名受験
プラズマ・核融合学会2023	1月28日	大阪公立大学	磁性流体班優秀発表賞 (2位)
第7回吉岡彌生賞 (東京女子医科大学)	2月14日	東京女子医大東キャンパス	
日本金属学会2023年春期講演大会	3月7日	東京都立産業貿易センター	
日本農芸化学会2023	3月14日	ZOOM	
第78回日本物理学会	3月18日	ZOOM	
京都大学ポスターセッション2022	3月18日	京都大学	1次審査を通過し兵庫県代表として発表
第70回日本生態学会	3月19日	ZOOM	

令和4年度 科学部の活動の記録

兵庫県立姫路東高等学校

〒670-0012 兵庫県姫路市本町 68 番地 70

電話 (079) 285-1166 (代)

FAX (079) 285-1167

URL <http://www.hyogo-c.ed.jp/~himehigashi-hs/>