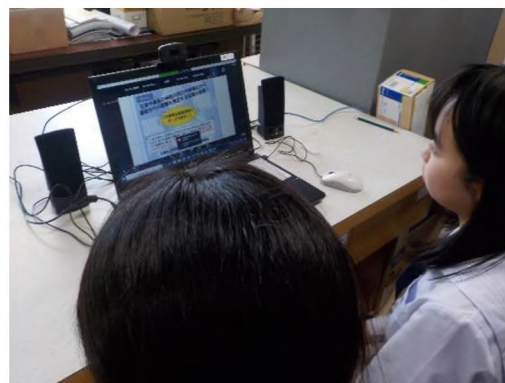
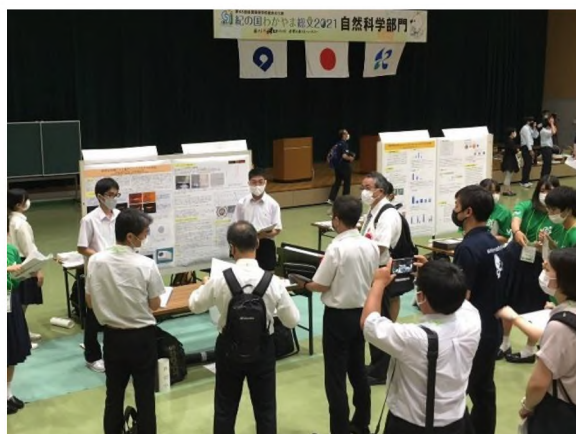


令和3年度 科学部の活動の記録



高

兵庫県立姫路東高等学校

科学部 3 年目の挑戦

科学部顧問 主幹教諭 川勝 和哉

本校の科学部の活動は、これまで脈々と絶えることなく引き継がれてきました。これまでは科学好きな数名の生徒で活動していましたが、令和 2 年度にスーパーサイエンスハイスクールの指定を受けたことを機に、部員数が増え、科学研究を中心に活発に活動するようになりました。これに伴って、理科や数学の教員が顧問団を形成して、指導・助言にあたるように体制を整備しました。

当初は、研究とはどのようなものか、その方法と必要な技術はどのようなものか、データはどのように扱うべきか、プレゼンテーションや研究論文の基礎はどのようなものか、などについて、手とり足とり指導していました。その結果、研究活動を始めた初年度から、文部科学省認定の研究論文コンテストや専門学会で全国上位入賞を果たすなど、大きな成果を収めました。彼らの集中した活動や、研究にかける情熱、そして得られた成果を見ていた後輩たちが活動を引き継ぎ、発展させて、2 年目には、その活動スタイルは「科学部の伝統」と呼ばれるようになりました。

3 年目である本年度は、顧問としてひとつの挑戦をしました。具体的な指導をすることを控え、生徒の主体的で対話的な研究活動を見守り、必要に応じて助言するにとどめました。生徒が、先行研究を調べるなどしてテーマを設定した結果、4 つの異なるグループに分かれて研究をすることになりました。研究計画を立てて必要な物品を請求し、実験や観察を進めるのも生徒自身です。定期的に報告会を開き、異なる研究班の生徒どうしで議論し、競い合うように活動しました。コロナ禍の影響で満足のいくところまで研究内容を詰めることができませんでした。先に書いたように、生徒の自走を目指した 1 年だったため、顧問の具体的な指示もありませんでした。生徒にとって厳しい 1 年であったと思います。それでも、昨年度よりも多くのコンテストや専門学会に挑戦し、多くの全国レベルの活躍をみせました。コロナ禍の中で、より高みを目指して自走した、誇るべき 1 年であったと思います。

ここに、生徒の 1 年間の成果をまとめます。科学部の活動は、本校 SSH の探究活動を牽引する存在となっています。これからも科学部の活動に期待したいと思います。

研究者の卵たちを見て

科学部顧問 内海 尊覚

科学部の顧問としてまず感じることは、部員の一人ひとりが、自分の研究に誇りをもって取り組んでいることである。新しい研究テーマを見つける、実験をする、データをまとめる、そこから考える、発表する。そういった一連の取り組みを全て「私」がやっているんだ、という責任をどの部員からも感じるができる。高校生ゆえの未熟な点もあり、実験方法や考察に穴があったり、発表で緊張して話すことだけで精一杯になってしまったりすることもある。しかし、指導や指摘、学会発表での質疑応答をすぐに反省し、次に生かそうという態度からは、未来の科学者としてあるべき姿を見てとれる。

また、どの部員も楽しく研究をしている、という雰囲気の良さも見逃せない。多忙な学生生活を送る中でもよい研究をしようと、班のメンバーだけでなく、部全体がまとまった一体感を感じる。班のリーダーどうしが切磋琢磨し、よき友、よきライバルとして互いに影響しあい、また、下級生も自分の役割を果たすだけでなく、自由に意見を出し合い、活発に話し合う。そんなのびのびとした雰囲気で、部員たちは「チーム」として研究に取り組んでいる。

科学部の部員が探究活動の班でリーダーシップを発揮し、中心となっているのは、単に科学部に所属しているからではない。研究に必要な態度、チームワークの重要性を理解し、実践しており、その姿が他の生徒の模範となっているからである。これらの科学部の経験を糧にして、部員たちが未来へはばたく研究者へと成長することを期待している。

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	研究成果（専門学会と論文コンテスト等）	3
6	小中学生を対象にした活動	14
7	発展的な探究活動	14
8	校外研修	16
9	生徒アンケートの結果	20

研究論文とポスター

「逆ムペンバ現象」はあるのか、それはどんな温度条件で現れる現象なのか （科学部物理系研究部 逆ムペンバ班）	22
サボテンの刺座の配列に規則性はあるのか （科学部生物系研究部 サボテン班）	32
ヤマトシジミ (<i>Corbicula japonica</i>) の殻表面の模様産地による種内変異 （科学部生物系研究部 シジミ班）	43
石英安山岩の角閃石から熱水残液の循環を記録する波状累帯構造を発見 （科学部地学系研究部 マグマ班）	54

1 はじめにー科学部の探究活動の目的

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）の指定を受けた。生徒の主体的な活動として、答えのない問いに対して仮説を立て、仮説の正しさを検証したり、新たに生まれた課題の解決の方法を探って対応したりする「探究」の力を育成する目的で、学校設定科目「理数探究基礎」や「理数探究・科学倫理」で課題研究に取り組んでいる。

この課題研究を牽引しているのが科学部である。科学部の活動は、生徒が主体的にテーマを設定したり仮説を立てたりする方法、目的にあった実験や観察の企画立案の方法、ポスターやパワーポイントを用いた効果的なプレゼンテーションの方法、正しい様式に基づいて論文をまとめる方法、等において、他の生徒の見本にもなっている。科学部の作成した論文やポスター等は、他の生徒に公開し、広報誌「SSH通信」でも紹介している。

科学部に入部してくる生徒は、自然科学に興味をもつ者ばかりではない。上級生の研究活動に取り組んでいる姿に憧れて入ってくる者もいる。また、乗り気ではなかったが友人が入部したからという理由の者もいる。それでも、研究活動に取り組む中で、次第にその面白さに気付き、またやりがいを感じるようになり、そのうち研究活動のリーダーとなっていく。

2 科学部の活動方針

科学部は、令和元年に活動を始めたときから、一貫して次の4点を活動方針としている。

(1) グループ研究を柱とする。

研究活動は、グループでおこなうことを基本とする。知識や経験が乏しい生徒が研究活動で成果を上げるために、複数の生徒からなるグループで研究することは、互いに刺激しあったり、議論によって新しい発想を引き出したりする高い教育効果を生む。グループ内での役割分担を明確にし、一方で全員が研究内容のすべてを理解できているように配慮した運営をする。

(2) 身近な自然現象をテーマとして扱う。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。

大学や研究機関と連携して、高度な分析装置を用いる研究があっても良いが、仕組みがよく理解できない分析装置を用いて得られた数値データを処理して議論しても、それは高校生の研究としてふさわしいのかどうか疑問がある。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研究目的を達成するためには、どのような工夫が必要かを十分考えさせることを主眼とする。

研究をおこなう中で、データの数学的処理やグラフや図表を用いて表現する情報処理の力、国語表現の力、英文要旨を作成したり英語で発表したりするための英語の力、科学倫理の理解など、総合的な力が必要であることを、生徒は自覚する。

(3) 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、社会に公開して評価を仰がなければ意味がない。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、公的な様式に基づいた研究論文をまとめて発表することを大切にしている。専門学会やコンテストで得られた受賞は、生徒の進路に大きな影

響を与えるばかりでなく、発表会を経験することで、科学の意味と科学者としての社会的立場や科学倫理を理解し、その結果、生徒の科学的能力は飛躍的に向上する。

(4) 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、企業等を中心とした外部の方々に研究結果を公開することで、成果を還元する。特に小・中学生に自然科学への興味や関心を高めてもらうために効果的である。

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。むしろ近年は広領域のテーマを扱うことの方が一般的である。便宜上、科学部内を、物理系研究部、化学系研究部、生物系研究部、地学系研究部、数学系研究部、に分けて活動しているが、実際には複数の領域にまたがっており、明確に区別しているわけではない。「地学系研究部砂粒班」(p.3 参照)のように、各部は複数の研究班に分かれて活動している。理科や数学の多くの顧問による集団指導体制をとり、助言にあたっている。

顧問教員は、事故防止と研究環境の整備等をおこなうものとし、具体的な研究内容に対して「こうすればよい」などと指導はせず、生徒と議論することによって、生徒の新しい発想や工夫を引き出す助言をするように努めている。必要に応じて、大学や企業研究所の研究者を招いたり、現地へ出かけて行ったりして、研究のヒントを得ることも必要であり、そのためのネットワークを整備している。

4 科学部の探究の進め方

年間を通じて毎日活動している。年度の前半は研究活動を、後半は成果の発表と普及活動を中心におこなう。

- (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示し、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：部員各自の希望によって、テーマ案に沿ったグループ分けをおこない、さらに詳細な研究テーマを設定する。また研究計画について検討し、必要な物品を挙げて要求する。可能であれば予備実験を始める。
- (3) 4月～8月：新入生の獲得活動とともに本格的な研究をおこなう。成果をまとめて論文を作成する。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、追加の研究をおこない、最終論文としてまとめて発表する。

5 研究成果（専門学会と論文コンテスト等）

コロナ禍のため、経験の少ない生徒にとって重要な、現地に赴いて発表したり実物を見たり本物に触れたりする経験をほとんどすることができなかつた。それでも、ZOOM というツールのおかげで、オンラインで発表したり議論したりすることができたことは、せめてもの救いである。

なお、類似の表題の研究発表や論文があるが、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。

（1）日本地球惑星科学連合（JpGU）高校生セッションで奨励賞を受賞（地学系研究部砂粒班）

主催 公益社団法人日本地球惑星科学連合

応募 令和3年4月8日（木）申込締切

令和3年4月15日（木）予稿締切

令和3年5月14日（金）iPoster 締切

日時 令和3年6月6日（日）13:45～15:15

オンライン開催

テーマ 石英や長石の砂粒の凹凸や体積比から源岩からの距離を推定する指標の提案（砂粒班）

研究者 岩本滯治、奥見啓史、安原倭、山本夏希、児玉尚子、多田明良、中農拓人、前田智彦、三井彩夏、室本勇也（砂粒班）

結果 予備審査を通過した77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。砂粒班が地道な研究手法と基礎科学としての意義を認められて全国3位に相当する奨励賞を受賞した。



（2）第45回全国高等学校総合文化祭自然科学部門に出場しパネル発表（物理系研究部プラズマ班）と口頭発表（地学系研究部砂粒班）をし、文化連盟奨励賞を受賞

主催 文化庁 公益社団法人全国高等学校文化連盟 ほか

応募 令和3年1月29日（金）申込締切（兵庫県高等学校文化連盟から推薦を受ける）

令和3年5月6日（木）論文締切

日時 令和3年7月31日（土）13:00～18:30

場所 近畿大学生物理工学部和歌山キャンパス（紀の川市西三谷930）

引率 川勝和哉、内海尊覚

テーマ 自作分光器による電子レンジプラズマの分光（プラズマ班）

砂粒の形や鉱物比から源岩からの距離を推定（砂粒班）

発表者 岩本滯治、安原倭（プラズマ班）

奥見啓史、山本夏希（砂粒班）

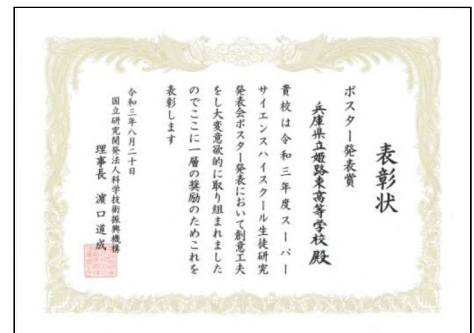
結果 令和2年度の兵庫県高等学校総合文化祭自然科学部門で、全分野最優秀賞のプラズマ班がパネル発表を、地学分野最優秀賞の砂粒班が口頭発表を行った。コロナ禍で巡検にも参加することができず、また広い空間にポスターが並べられており、折角の現地開催であったが、互いに発表したり議論したりすることができる環境ではなかったことが残念である。

(3) 7th Science Conference in Hyogo でポスター発表 (物理系研究部プラズマ班)

主催 兵庫「咲い」テク事業推進委員会
 応募 令和3年6月25日(金) 申込締切
 日時 令和3年7月17日(土) 13:30~16:30
 場所 兵庫県立姫路西高等学校 (姫路市北八代 2-1-33)
 引率 川勝和哉、内海尊覚
 テーマ Spectroscopy of Plasma Generated in a Microwave using a Newly Developed Simple Spectrometer with High Resolution
 研究者 岩本滯治、安原倭 (プラズマ班)
 結果 電子レンジプラズマの研究成果について英文ポスターで発表した。英語による質疑応答も活発に行われ、有意義な発表会になった。発表総数は23件。

(4) 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3年6月3日(木) 申込および要旨締切
 日時 令和3年8月4日(水) 1次審査会
 場所 神戸国際展示場 (神戸市中央区港島中町 6-11-1)
 引率 川勝和哉
 テーマ 砂粒の石英と長石の形や鉱物比から源岩までの距離を推定する方法 (砂粒班)
 発表者 奥見啓史、内藤麻結、山本夏希 (3年次生部員)



結果 経験校を含む224件の発表があった。コロナ禍のため2日に分けての実施となり、現地開催ではあったが議論をするような場面はなかった。審査委員とのやりとりが白熱する場面があり、生徒の成長を垣間見ることができた。残念ながら2次審査会に進出することはできなかった。

(5) 日本動物学会第92回大会で発表し高校生ポスター賞を受賞 (生物系研究部シジミ班)

主催 公益社団法人日本動物学会
 応募 令和3年7月26日(金) 申込および要旨締切
 令和3年8月16日(月) e-poster 締切
 日時 令和3年9月4日(土) 9:30~12:00 オンラインによる e-poster 発表
 テーマ ヤマトシジミの殻表面模様の産地ごとの種内変異 (シジミ班)



研究者 三井彩夏、山本夏希、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 (シジミ班)
 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。

(6) 日本地質学会第128年学術大会(名古屋大会)第18回ジュニアセッションで発表(地学系研究部 マグマ班)

主催 一般社団法人日本地質学会
 応募 令和3年8月2日(月) 申込および要旨締切
 日時 令和3年9月5日(日) 9:00~15:00
 オンラインによる e-poster 発表
 テーマ 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(マグマ班)
 研究者 岩本滯治、多田明良、中農拓人、本脇敬人(マグマ班)
 結果 日本地質学会の全理事によって審査がおこなわれた。コロナ禍でフィールドワークができず、不十分な研究発表となった。発表15件。



(7) 日本植物学会第85回大会で発表し特別賞を受賞(生物系研究部サボテン班)

主催 公益社団法人日本植物学会
 応募 令和3年7月16日(金) 申込締切
 令和3年7月30日(金) 要旨締切
 日時 令和3年9月20日(月・祝) 10:30~12:00
 オンラインによる e-poster 発表
 テーマ サボテンの刺座の配列に規則性はあるのか(サボテン班)
 研究者 奥見啓史、前田智彦、岸上栞菜、武内優果、本脇敬人、吉田龍之介(サボテン班)
 結果 40件の発表の中から、着眼点の面白さと地道な努力が認められて特別賞に選ばれた(全国3位)。



(8) 第65回日本学生科学賞兵庫県コンクールに応募(地学系研究部マグマ班、生物系研究部シジミ班、サボテン班)

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3年10月7日(木) 申込および研究概要締切
 場所 バンドー神戸青少年科学館
 テーマ 石英安山岩の角閃石から熱水残液の循環を記録する波状累帯構造を発見(マグマ班)
 ヤマトシジミ (*Corbicula japonica*) の殻表面の模様の産地による種内変異(シジミ班)
 サボテンの刺座の配列に規則性はあるのか(サボテン班)
 研究者 中農拓人、多田明良、本脇敬人、岩本滯治(マグマ班)
 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、横尾侑眞(シジミ班)

前田智彦、岸上栞菜、武内優果、本脇敬人、吉田龍之介（サボテン班）

結果 応募総数は89件であった。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。

(9) TAMAサイエンスフェスティバル in TOYAKU 2021 で発表し、2研究とも敢闘賞を受賞（生物系研究部サボテン班、シジミ班）

主催 東京薬科大学

応募 令和3年9月24日（金）申込および論文締切

日時 令和3年10月31日（日）9:00～17:00

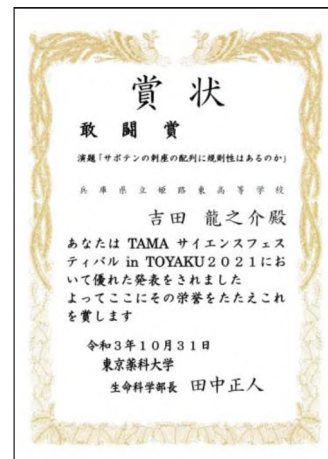
オンラインによる口頭発表

テーマ サボテンの刺座の配列に規則性はあるのか（サボテン班）
ヤマトシジミの殻表面の模様は産地によって規則性があるのか（シジミ班）

研究者 前田智彦、本脇敬人、岸上栞菜、武内優果、吉田龍之介（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、横尾侑眞（シジミ班）

結果 事前審査によって選ばれた54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、2研究とも敢闘賞を受賞した。



(10) 令和3年度高大連携課題研究合同発表会 at 京都大学でポスター発表とグループ討議（物理系研究部逆ムペンバ班）

主催 京都大学

募集 令和3年10月11日（月）申込締切 令和3年10月22日（金）要旨締切

日時 令和3年11月3日（水）12:00～16:00

場所 京都大学 国際科学イノベーション棟（京都市左京区吉田本町）

引率 内海尊覚

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現れる現象なのか（逆ムペンバ班）

研究者 多田明良、中農拓人、菅原楓、志村実咲、山浦奈々、藤原萌々美（逆ムペンバ班）

結果 全体会で中村亮介氏（アジア・アフリカ地域研究研究科助教）による記念講演の後、ポスター発表とグループ討議が行われた。参加校15校、発表18件。

(11) 第45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、パネル発表優秀賞（地学系研究部マグマ班）、優良賞2件（物理系研究部逆ムペンバ班と地学系研究部マグマ班）と奨励賞（生物系研究部シジミ班）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3年9月27日（月）申込締切 令和3年10月6日（水）論文締切

日時 令和3年11月6日（土）口頭発表

令和3年11月7日(日)ポスター発表

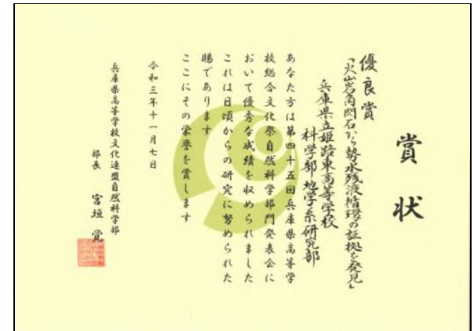
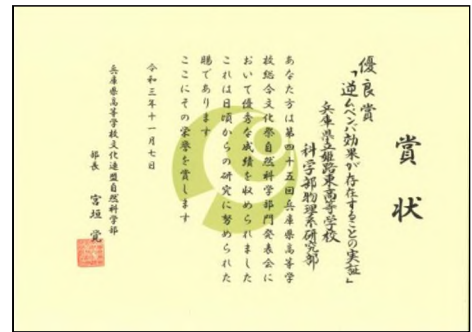
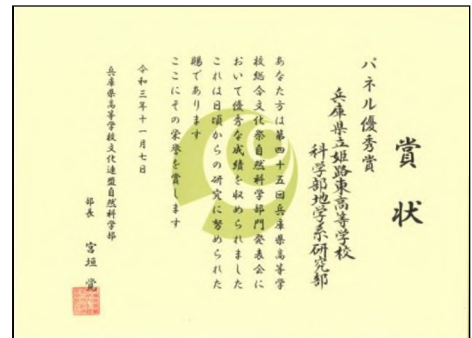
場 所 兵庫県立神戸高等学校(口頭発表)
 バンドー神戸青少年科学館(ポスター発表)

引 率 川勝和哉、内海尊覚

テーマ ヤマトシジミの殻の模様の地域ごとの変異(シジミ班)
 逆ムペンバ効果が存在することの実証(逆ムペンバ班)
 火山岩角閃石から熱水残液循環の証拠を発見(マグマ班)

研究者 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、横尾侑眞(シジミ班)
 多田明良、菅原楓、志村実咲、山浦奈々、藤原萌々美(逆ムペンバ班)
 中農拓人、本脇敬人(マグマ班)

結 果 口頭発表27件(物理分野7件、化学分野4件、生物分野11件、地学分野5件)、ポスター発表44件。論文と当日の口頭発表の合計点で審査され、逆ムペンバ班とマグマ班が優良賞、シジミ班が奨励賞を受賞した。マグマ班はパネル発表優秀賞も受賞した。



(12) 日本動物学会近畿支部高校生研究発表会で発表(生物系研究部シジミ班)

主 催 公益社団法人日本動物学会近畿支部

応 募 令和3年10月6日(水)申込および要旨締切 令和3年11月9日(火)発表動画締切

日 時 令和3年11月13日(土)15:00~17:00 オンラインによる動画発表

テーマ ヤマトシジミの殻表面模様は産地によって規則性があるのか(シジミ班)

研究者 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、横尾侑眞(シジミ班)

結 果 14件の発表があった。1年次生徒が発表し、よい経験となった。

(13) 第4回グローバルサイエンティストアワード“夢の翼”で発表し、一般社団法人メディポリス医学研究所賞を受賞(生物系研究部シジミ班)

主 催 グローバルサイエンティストアワード“夢の翼”実行委員会、文部科学省認定大会

応 募 令和3年10月31日(日)申込および要旨締切

日 時 令和2年11月14日(日)9:00~15:15(オンラインによるライブプレゼンテーション)

テーマ ヤマトシジミの殻表面の模様の産地による種内変異(シジミ班)
 サボテンの刺座の配列に規則性はあるのか(サボテン班)

「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（逆ムペンバ班）

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（マグマ班）

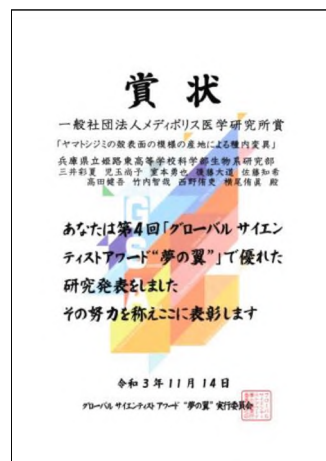
研究者 三井彩夏、児玉尚子、室本勇也、後藤大道、佐藤知希、高田健吾、竹内智哉、西野侑吏、横尾侑眞（シジミ班）

前田智彦、本脇敬人、岸上栞菜、武内優果、吉田龍之介（サボテン班）

多田明良、中農拓人、菅原楓、志村実咲、山浦奈々、藤原萌々美（逆ムペンバ班）

中農拓人、多田明良、本脇敬人、岩本滯治（マグマ班）

結果 事前審査で選ばれた 69 件の ZOOM による口頭発表審査が行われ、シジミ班が一般社団法人メディポリス医学研究所賞（全国 6 位）を受賞した。



(14) 第 12 回東京理科大学坊っちゃん科学賞に応募し、優良入賞 2 件（物理系研究部プラズマ班と地学系研究部砂粒班）、入賞（物理系研究部紫外線班）を受賞

主催 東京理科大学

応募 令和 3 年 7 月 31 日（土）申込締切

令和 3 年 8 月 31 日（火）論文締切

日時 令和 3 年 11 月 14 日（日）

13:00~16:00 (オンラインによるライブプレゼンテーション)

テーマ 自作の高分解能簡易分光器による電子レンジプラズマの分光（プラズマ班）

石英や長石の砂粒の凹凸や体積比

から源岩からの距離を推定する指標の提案（砂粒班）

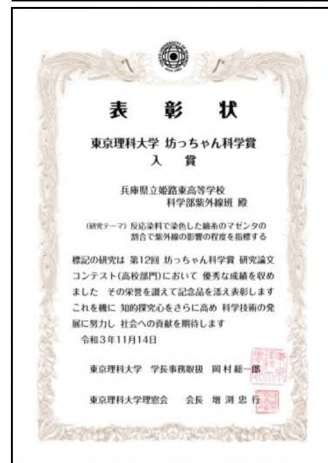
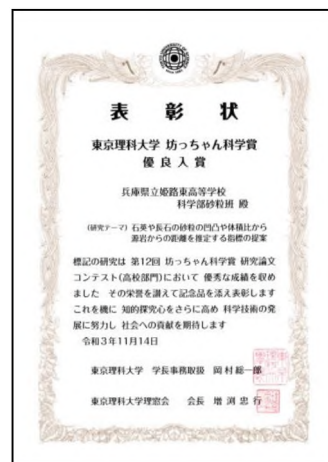
反応染料で染色した綿糸のマゼンタの割合で紫外線の影響の程度を指標する（紫外線班）

研究者 岩本滯治、奥見啓史、安原倭、山本夏希（プラズマ班）

岩本滯治、奥見啓史、安原倭、山本夏希、児玉尚子、多田明良、中農拓人、前田智彦、三井彩夏、室本勇也（砂粒班）

山本夏希、岩本滯治、奥見啓史、安原倭（紫外線班）

結果 応募 188 件の論文を秋山仁特任副学長を審査委員長とする審査員 12 名で 9 月 30 日（木）に審査会を開催した結果、本校の研究が全国 3 位および 4 位に選ばれた。受賞研究論文集が出版された。



(15) 神戸大学高校生・私の科学研究発表会 2021 で発表し奨励賞 2 件（生物系研究部サボテン班とシジミ班）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3年10月18日（月）
申込および要旨締切

日時 令和3年11月23日（火・祝）
（オンライン口頭発表）

テーマ サボテンの刺座の配列は規則的な
のか（サボテン班）
ヤマトシジミの殻表面の模様は産
地によって規則性があるのか（シ
ジミ班）



「逆ムペンバ現象」はあるのか、それはどんな温度条件で現れる現象なのか（逆ムペンバ班）

火山岩の角閃石から初めて熱水残液の循環を示す波状累帯構造を発見（マグマ班）

研究者 前田智彦、本脇敬人、岸上栞菜、武内優果、吉田龍之介（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（シジミ班）
多田明良、中農拓人、菅原楓、志村実咲、山浦奈々、藤原萌々美（逆ムペンバ班）
多田明良、中農拓人、本脇敬人（マグマ班）
前田智彦、本脇敬人、岸上栞菜、武内優果、吉田龍之介（サボテン班）

結果 30 件の発表があった。1 年次生徒が初めて口頭発表をおこなった。神戸大学の教員によって審査がおこなわれ、サボテン班とシジミ班が奨励賞を受賞した。

(16) 第 44 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、シジミ班)

主催 日本分子生物学会

応募 令和3年10月4日（月）申込および要旨締切

日時 令和3年12月3日（金）13:00～15:30

場所 パシフィコ横浜 展示ホール(横浜市内西区みなとみらい 1-1-1)

引率 川勝和哉、古河真紀子

テーマ サボテンの刺座の配列は規則的なのか（サボテン班）
ヤマトシジミの殻表面の模様は産地によって規則性があるのか（シジミ班）

研究者 前田智彦、本脇敬人、岸上栞菜、武内優果、吉田龍之介（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、



横尾侑眞（シジミ班）

結果 現地での口頭発表およびポスター発表とともに、オンラインによる視聴サイトを通じて発表を行った。対面で発表ができる数少ない機会だったが、非常に積極的に発表や質疑応答を行い、飛躍的なプレゼンテーション能力の向上を見た。18件の口頭発表と25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。

(17) 第19回高校生科学技術チャレンジ2021（JSEC）に応募し敢闘賞を受賞（物理系研究部逆ムペンバ班）

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3年10月4日（月）申込および論文締切
 日時 令和3年11月8日（月）1次審査
 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現れるのか（逆ムペンバ班）
 研究者 多田明良、中農拓人、菅原楓（逆ムペンバ班）
 （JSECは3名以内しか認めていない）



結果 220件の応募論文に対する予備審査によって、本校を含む85研究が1次審査に進出した。入選以上となる1次審査では、残念ながら最終審査の32研究には選ばれなかった。しかし、1次審査で高く評価された研究作品のうち、惜しくも最終審査会に進出できなかったが、それに大差ない内容であると審査会議で認められた作品に贈られる敢闘賞を受賞した。

(18) 第16回筑波大学「科学の芽」賞に応募し、奨励賞を受賞（地学系研究部マグマ班）

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3年9月18日（土）申込および論文締切
 日時 令和3年12月18日（土）筑波大学
 テーマ 火山岩の角閃石から初めて熱水残液の循環を示す波状累帯構造を発見（マグマ班）
 「逆ムペンバ現象」はあるのか、それはどんな温度条件で現れる現象なのか（逆ムペンバ班）
 サボテンの刺座の配列は規則的なのか（サボテン班）
 ヤマトシジミ (*Corbicula japonica*) の殻表面の模様は産地によって規則性があるのか（シジミ班）



研究者 岩本濤治、多田明良、中農拓人、本脇敬人（マグマ班）
 多田明良、中農拓人、岩本濤治、菅原楓、志村実咲、山浦奈々、藤原萌々美（逆ムペンバ班）
 前田智彦、奥見啓史、本脇敬人、岸上栞菜、武内優果、吉田龍之介（サボテン班）
 三井彩夏、山本夏希、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、横尾侑眞（シジミ班）

結 果 286 件の応募のうち、全国 3 位にあたる努力賞をマグマ班が受賞した。

(19) 第 20 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を受賞(地学系研究部マグマ班)

主 催 神奈川大学 文部科学省認定大会

応 募 令和 3 年 8 月 25 日 (水) 申込および論文締切

日 時 令和 3 年 12 月 3 日 (金) 審査委員会

テーマ 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 (マグマ班)

「逆ムペンバ効果」はあるのか、それはどんな温度条件で見られるのか (逆ムペンバ班)

サボテンの刺座の配列に規則性はあるのか (サボテン班)

ヤマトシジミ (*Corbicula japonica*) の殻表面の模様の産地による種内変異 (シジミ班)

研究者 岩本滯治、多田明良、本脇敬人 (マグマ班)

多田明良、中農拓人、岩本滯治、菅原楓、志村実咲、山浦奈々、藤原萌々美 (逆ムペンバ班)

前田智彦、奥見啓史、本脇敬人、岸上栞菜、武内優果、吉田龍之介 (サボテン班)

三井彩夏、山本夏希、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 (シジミ班)

結 果 応募総数 148 件の予備審査と本審査を経て、マグマ班の研究が全国 3 位の努力賞を受賞した。研究論文は「未来の科学者との対話」として日刊工業新聞社から出版されていたが、本年度より神奈川大学のホームページ上での公開となる。指導した川勝和哉主幹教諭には指導教諭賞が贈られた。

(20) 第 6 回東京女子医大「はばたけ未来の吉岡彌生賞」に応募(物理系研究部プラズマ班、生物系研究部シジミ班、サボテン班、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 3 年 10 月 31 日 (日) 申込および論文、要旨締切

日 時 令和 3 年 12 月 16 日 (木) 審査委員会

テーマ 石英安山岩の角閃石から熱水残液の循環を記録する波状累帯構造を発見 (マグマ班)

「逆ムペンバ効果」はあるのか、それはどんな温度条件で現れる現象なのか (逆ムペンバ班)

サボテンの刺座の配列に規則性はあるのか (サボテン班)

ヤマトシジミ (*Corbicula japonica*) の殻表面の模様の産地による種内変異 (シジミ班)

研究者 中農拓人、多田明良、本脇敬人、岩本滯治 (マグマ班)

多田明良、中農拓人、菅原楓、志村実咲、山浦奈々、藤原萌々美 (逆ムペンバ班)

前田智彦、岸上栞菜、武内優果、本脇敬人、吉田龍之介 (サボテン班)

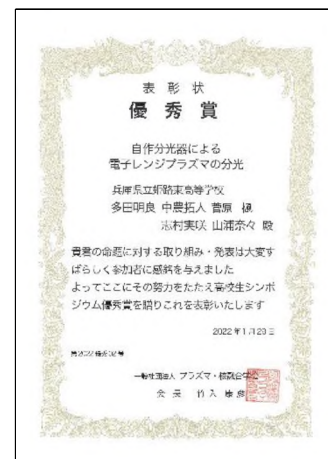
三井彩夏、児玉尚子、室本勇也、後藤大道、佐藤知希、高田健吾、竹内智哉、西野侑吏、横尾侑真 (シジミ班)

結 果 応募総数は不明。コロナ禍の影響で、細部まで詰めることができなかつたため、受賞はならなかつた。

(21) プラズマ・核融合学会第19回高校生シンポジウムでポスター発表し優秀賞を受賞（物理系研究部 プラズマ班）

主催 一般社団法人プラズマ・核融合学会
応募 令和3年12月3日（金）申込締切
令和4年1月21日（金）要旨および論文締切
日時 令和4年1月29日（土）13:00～16:50（オンライン開催）
テーマ 自作分光器による電子レンジプラズマの分光（プラズマ班）
研究者 多田明良、中農拓人、菅原楓、志村実咲、山浦奈々（プラズマ班）

結果 東北大学での発表予定が急遽オンラインによる発表に変更され、準備が大変であった。困難なプラズマの実験を丁寧に繰り返して新しい発見をしたことが高く評価された。発表総数は20件であった。



(22) 第18回日本物理学会 Jr. セッション（2022）で本発表研究に採択され発表（物理系研究部逆ムペンバ班）

主催 一般社団法人日本物理学会、高等学校文化連盟全国自然科学専門部
応募 令和3年12月13日（月）申込および要旨、論文締切
日時 令和4年3月12日（土）（オンライン開催）予定
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現れるのか（逆ムペンバ班）
研究者 多田明良、中農拓人、菅原楓、志村実咲、山浦奈々、藤原萌々美（逆ムペンバ班）

結果 昨年度より20件程度多い102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、物理教育編集委員会委員、前回審査員等による書類審査がおこなわれた。その結果、本校科学部の研究が本発表研究に採択された。ZOOMによる発表をおこない、上位入賞を狙う。

(23) 京都大学サイエンスフェスティバル2022に採択されポスター発表（物理系研究部逆ムペンバ班）

主催 京都大学
応募 令和3年11月30日（火）申込締切 令和4年1月31日（月）要旨締切
日時 令和4年3月12日（土）10:00～16:45 予定
場所 京都大学（京都市左京区吉田本町）
引率 川勝和哉
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（逆ムペンバ班）
研究者 多田明良、中農拓人、菅原楓（逆ムペンバ班）

結果 兵庫県内のSSH指定校から発表を希望する学校4校が申し出た。要旨による審査を経て本校科学部の研究が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。

(24) 日本農芸化学会 2022 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(科学部シジミ班、生物研究部サボテン班)

- 主催 公益社団法人日本農芸化学会
- 応募 令和3年12月17日(金) 申込および要旨締切
- 日時 令和4年3月16日(水) 9:45~15:00 (オンライン開催) 予定
- テーマ ヤマトシジミの殻表面の模様は産地によって規則性があるのか(シジミ班)
サボテンの刺座の配列に規則性はあるのか(サボテン班)
- 研究者 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(シジミ班)
前田智彦、本脇敬人、岸上栞菜、武内優果、吉田龍之介(サボテン班)
- 結果 102件の研究が発表研究として採択された。事前に提出した要旨を大会実行委員会が審査し、本発表研究が採択された。

(25) 第69回日本生態学会(2022年福岡)高校生ポスター発表会で本発表研究に採択され発表(生物系研究部シジミ班、サボテン班)

- 主催 一般社団法人日本生態学会
- 応募 令和2年11月1日(月) 申込締切 令和4年2月21日(月) 要旨締切
令和4年3月18日(金) ポスターファイル締切
- 日時 令和4年3月19日(土) 13:00~15:00 (オンライン開催) 予定
- テーマ ヤマトシジミの殻表面の模様の産地による種内変異(シジミ班)
サボテンの刺座の配列に規則性はあるのか(サボテン班)
- 研究者 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(シジミ班)
前田智彦、岸上栞菜、武内優果、本脇敬人、吉田龍之介(サボテン班)
- 結果 全国から49件の応募があった。ポスターの情報伝達能力(タイトル、要旨、工夫、情報過多でないなど)、研究の質(新規性、独創性、データの質と量、解析方法の妥当性、議論や結論の妥当性)に基づいて選考委員会によって審査され、最優秀賞と優秀賞が決定する。

6 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。また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	近隣の小学校に案内し、小学4・5・6年生を対象に募集する。
日時	令和3年7月実施予定（コロナ禍のため中止）
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。

7 発展的な探究活動

(1) “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2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3年6月30日（水）申込および書類締切
日時	令和3年7月4日（日）、7月10日（土）、7月11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2名と2年次生徒3名が挑戦
結果	1年次生徒1名と2年次生徒1名が合格し、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3年次生の3名は、本年度も継続して研究活動を行った。

(2) 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4名が合格

主催	大阪大学
応募	令和3年5月21日（金）応募締切 令和3年6月6日（日）13:00～15:00 オンラインによる選考会
日時	大学担当者と相談の上、大阪大学の施設で研究活動を実施する
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4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。3名グループの研究と1名の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。

(3) 数学・理科甲子園 2021 に 2 年次の生徒が挑戦

- 主催 兵庫県教育委員会
- 応募 令和3年9月10日(金) 申込締切
- 日時 令和3年11月27日(土)
- 場所 姫路市文化コンベンションセンター「アクリエひめじ」
- 参加者 三井彩夏、中農拓人(以上科学部2年次生徒) ほかに4名が出場
- 結果 兵庫県の高等学校から各1チームが出場した。参加全58校で行われた予選(個人戦・団体戦の合計)で6位に入り、上位16チームが進出する本選に進んだ。上位5校による決勝進出も期待されたが惜しくも決勝進出を逃した。

(4) 3 年次生の山本夏希さんが厚生労働省の座談会「みんなで考えよう移植医療の未来」に参加

- 主催 厚生労働省 健康局難病対策課移植医療対策推進室
- 日時 令和3年9月6日(月) 15:30~16:30
- 場所 兵庫県立姫路東高等学校 ZOOM 座談会
- 発表者 山本夏希(3年次生徒)
- テーマ 15歳からの意思決定—自分の意思と家族の思い—
- 内容 本校の科学倫理教育の取組を知った厚生労働省からの依頼を受けて山本夏希さんが座談会に参加し、他校の生徒3名と1時間にわたって臓器移植について議論した。この模様は厚生労働省のHPで紹介されたほか、機関紙「厚生労働」10月号に特集記事として掲載された。

The image shows a page from the magazine 'Seishun Rodo' (厚生労働) titled '座談会 part 3' (Interview part 3). The main headline is '15歳からの意思決定' (Decision-making from age 15). The sub-headline is '自分の意思と家族の思い' (My own thoughts and family's wishes). The text describes how student Yamamoto Natsuki participated in a Zoom interview with the Ministry of Health, Labour and Welfare regarding organ transplantation. It mentions that the interview was held on September 6th, 2021, and that Natsuki was one of four high school students selected from 15-year-olds. The page includes a video thumbnail showing the Zoom session with Natsuki and three other students. Below the video, there is a list of participants: 山本夏希 (Yamamoto Natsuki), 三浦正和 (Miyura Masahiro), 山田陽介 (Yamada Youkei), and 非田虎太郎 (Nishida Kutarou). The page also contains text from the interview, discussing the importance of decision-making and the role of family in such decisions.

(5) 第14回日本地学オリンピック（第16回国際地学オリンピック日本代表選抜）に20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3年11月15日（月）申込締切
日時 令和3年12月19日（日）14:00～15:30（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6名、1年次生14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、AO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。

(6) International Research for School に1年次生5名が参加

- 主催 東北大学リサーチフェロー 加速キッチン合同会社
(代表：田中香津生 東北大学大学院情報科学研究科教授)
日時 令和4年1月30日（日）8:00～10:00（日本時間／オンラインによる対話）
場所 本校生物教室
内容 アメリカと日本の中高生の交流を目的として、International Research for School でNASA やアメリカの研究機関とつながって研究テーマや研究のツールの紹介を受ける。これをキックオフイベントと位置付け、今後も継続的に自然科学の探究活動で国際交流を行う。紹介したところ、主体的に科学部員5名が希望した。

8 校外研修

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、校外研修を実施することができた。

(1) SSH 野外地質調査の企画

- 目的 地質の構造や岩石の固結のようすが明瞭に観察できる露頭として知られる山陰ジオパークを訪問し、地質調査を行う。この成果を、学会等で発表したり論文にまとめて投稿する。この経験を通じて、探究活動を行うための能力の向上を図る。
日時 令和3年8月24日（火）7:45～8月26日（木）14:10
場所 生野銀山（兵庫県朝来市生野町小野 33-5）
玄武洞（兵庫県豊岡市赤石 1362）
山陰ジオパーク 豊岡市～香美町の海岸沿いの地質調査
希望者 科学部1、2年次生徒希望者21名
内容 オーストラリア野外調査が新型コロナ禍のために中止となり、その代替研修として兵庫県北部の山陰海岸の野外調査を企画した。事前に火成作用についての研修や、研究倫理に関する勉強会を実施した（7月27日（火）、8月11日（水）8月18日（水）の3回実施）。
→コロナ禍による緊急事態宣言の発出により中止となった。

(2)「兵庫県南部地震と防災」研修を希望生徒とともに実施

目的 自然科学探究基礎の学習の一環として兵庫県南部地震の震源地と人と防災未来センターを訪問することによって、野外観察による自然科学的側面と、地震災害の記録を学ぶことによる防災的側面から、自然災害についての理解を深める。

日時 令和3年12月9日(木) 7:15~18:00

場所 北淡震災記念公園 野島断層保存館
(淡路市小倉 177)

人と防災未来センター
(神戸市中央区脇浜海岸通 1-5-2)

参加者 1、2年次生徒希望者 20名(科学部員 12名)

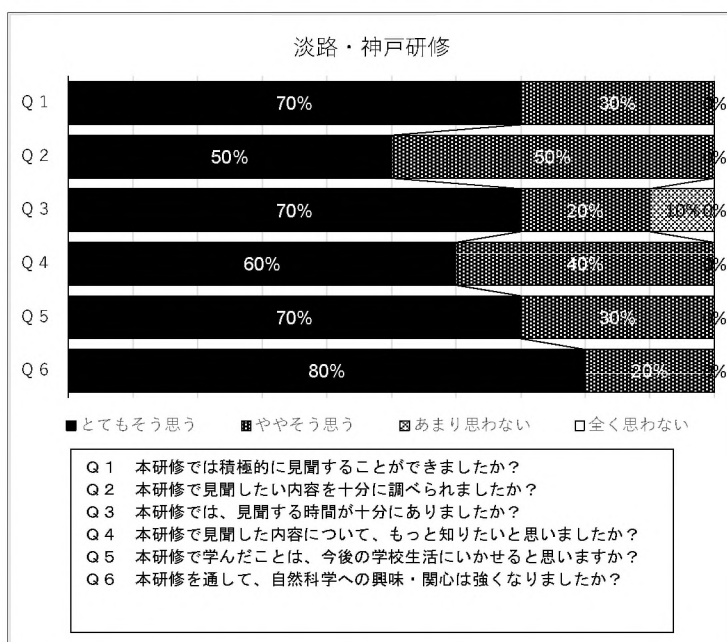
引率 川勝和哉、森川昇

内容 コロナ禍で中止となったオーストラリア研究、さらにその代替として企画した兵庫県北部地方の野外地質調査が続けて中止に追い込まれ、それらの代替研修として本研修を実施した。事前研修を11月23日(火)と11月29日(月)に行い、また事後には報告書の提出を求めて公表した。野島断層の地質調査を行うほか、「自然科学探究基礎I」の研修として、科学的理解と防災減災の両面から自然現象(災害)を理解した。

感想 ・災害への備えとして、地域でのコミュニケーションをとることや必要な準備をしておくことなどがある。地域でコミュニティを形成していくのは、今では減ってきているように思うので、そこを解消していく必要があると思う。地震のメカニズムや直下型地震と海溝型地震の違いなど、今まで深く知らなかったもの、なんとなくの認識だったものを再認識でき、もっとよく知ることが大切だと感じた。

・午前中の野島断層の見学では、被災者のお話を聞いて、とても胸が痛かった。また、断層の見学や地震体験では、教科書で見たことしかなかったものを実際に見たり、震度7の揺れを体感できたりして、貴重な体験ができた。人と防災未来センターでは、震災当時の資料を見て、さらに防災・減災の意識が高まった。家に帰ったら、今日学んだ事を親と話し、少しでも役に立てたい。

・地震が起こる細かいメカニズムなどを考えたことがなかったので、今回の研修が考えるき



かけになって良かった。この淡路島研修はとても良い刺激となり、本来予定していたオーストラリアにも是非行ってみたいと強く思うきっかけにもなった。

検 証 本研修は2つの施設を回ったが、いずれも生徒の深い興味・関心を刺激したようで、ひとつひとつの展示を食い入るように観察したり、学芸員と熱心に議論したりする様子があちこちで見られた。アンケートからは、時間が十分ではなかったという生徒が10%程度いた。

(3) 科学部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、科学部の専門的な内容の研究をさらに深化させる。

日 時 令和3年12月10日(金)15:30~12日(日)19:00

場 所 国立科学博物館(台東区上野公園7-20)

日本科学未来館(江東区青梅2-3-6)

参加者 科学部1、2年次生徒希望者19名

引 率 川勝和哉、内海尊覚

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。十分な時間を確保したつもりだったが、それでも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った。今後まとめる研究論文に関連する部分も多くあり、論文を深化させることができた。事前研修を実施1週間前から毎日の放課後の科学部の活動で実施し、成果を研究に反映させてポスターを作成して校内の生徒に公表した。

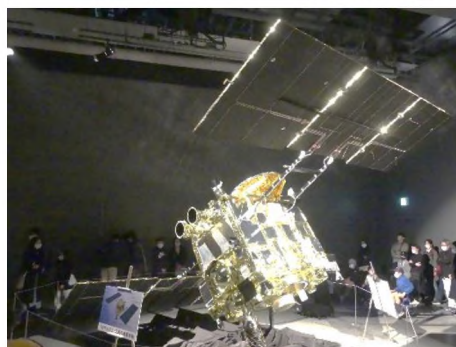
感 想 ・国立科学博物館では、時間がギリギリになるくらい見ていたが、全然見回りきることができなかった。博物館で何かを理解しようと集中したことはこれまでになく、自分でも驚いている。

・東京の人は、正確でたくさんの情報を得られる場所へ、すぐに行けるなんて非常にうらやましい。今回の研修では情報を進んで取りに行くことの大切さを学んだ。

・自分の研究テーマのきっかけになる展示を見つけることができた。知識を身につけるだけでなく、あらゆる物事に対して「なぜ」「なに」と疑問を抱くこと、その疑問をとことん調べて突きつめていくことの大切さを学べた。自分自身にしかできないことは何か、自分たちが優れている点はどこか、ということも意識しながらこれから研究をしていきたい。

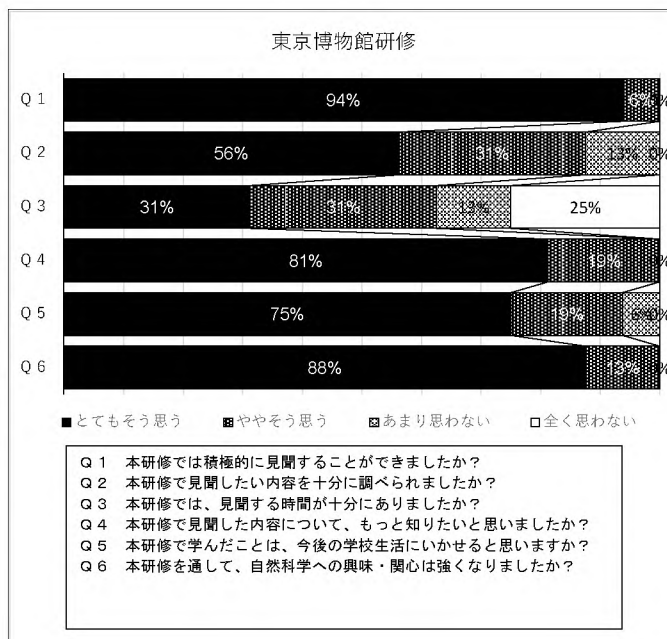
・個人的には、3泊4日で2日間科博に行って、みらい館に1日行きたかったなと思います。それくらい、科博ではひとつひとつの展示の内容が濃かったし、非常に興味をそそりました。自分の知らなかったことを知る良いきっかけ、刺激になった。

・研修で見聞きしたことは本当におもしろいと思えることばかりで、今までに無く積極的に



活動することが出来たと思う。ただ、特に国立科学博物館では、気が済むまで展示を見るためには時間が足りず、半分程度しか見ることが出来なかったのも、もっと時間の余裕は欲しかったと思った。

検 証 研修だけでは理解が十分に得られないと答える生徒が見られる。現地での実体験によって、生徒自身の知識の不足の気づきがあったことは、Q4の「もっと知りたいと思った」生徒が100%であることからわかる。また、研修そのものの時間が足りないと答える生徒が25%を越えるように、参加生徒はみな食い入るように断層を観察したり議論したりした。オンラインでは決して得られなかった成果である。



9 生徒アンケートの結果

(2月4日実施／対象生徒：3年次生5名、2年次生6名／1年次生13名)

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：4名 (31%)	1年次：7名 (54%)	1年次：2名 (15%)
2・3年次：9名 (82%)	2・3年次：3名 (27%)	2・3年次：1名 (9%)

問2-1. 問1で「期待していた」と答えた人に聞きます。活動をおこなってきて、どうでしたか？

期待通りだった	期待通りではなかった
1年次：4名 (100%)	1年次：0名 (0%)
2・3年次：9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。活動をおこなってきて、どうでしたか？

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：8名 (89%)	1年次：1名 (11%)
2・3年次：3名 (75%)	2・3年次：1名 (25%)

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
22名 (92%)	2名 (8%)

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
21名 (88%)	9名 (38%)	8名 (33%)	0名 (0%)

問5. 科学部の活動についての自由記述。

- ・科学部に入って、研究の楽しさ、議論することの楽しさを知りました。科学部のおかげで校外の活動にも参加することができ、たくさんの刺激的な経験をする事ができています。また、自分の意見を伝えることがとても苦手でしたが、苦手意識がなくなり好きになりました。ほかにも、自分が何を得意にしているのか知ることができ、自分自身への大きな自信になりました。(1年次)
- ・研究というものについて漠然としかイメージになかったが、研究に参加してどのように進めていくのか以前よりはっきりした。研究活動が面白いと感じた。(1年次)
- ・はじめは難しそうだと思っていたが、思っていた以上に面白く自分のためになった。(1年次)
- ・科学の知識を得るだけでなく、継続することや協力することの大切さを学び、たくさんの刺激を得

た。(1年次)

- ・1年間活動してきて、先輩方の研究にかける思いが伝わってきた。来年からは自分たちが中心になって、頑張りたいと思う。東京研修など、科学部に所属していたからこそ参加できたイベントもたくさんあったので良かった。(1年次)
- ・科学部に入ったことで、普段の生活の現象などがどんな仕組みなのかを調べてみるきっかけが増え、探究心が深まった。(1年次)
- ・地道な作業も多かったが、最初は全然知らなかった研究テーマについて、どんどん知っていけることが楽しかった。また発表で積極的に大人に話しかけて説明できたことは、とても良い経験になった。(1年次)
- ・この学校に科学部があることも知らず、あったとしても絶対に入らないだろうと思っていました。でも部活動紹介での上級生の姿や、部活動見学で見た研究者たちが働いているような部活動の光景を見て入部しました。人前で話すことが苦手だった私は、発表が頻繁にあることを聞きとても不安でした。しかし発表で深い質問をして交流する楽しさを覚えました。(1年次)
- ・複数の研究班があることで、好きな分野を選びやすかった。コロナの影響で、現地で発表することができなかったのが残念だった。現地で発表する機会をもらって発表した時には、ZOOMの100倍くらい緊張したが、ZOOMの100倍やりがいを感じられた。(2年次)
- ・最初の頃は思っていたよりも大変だったが、研究が面白くなり、そのうち他のことについても調べてみたいと思うようになった。さまざまな研修で知らないことを経験できて楽しかった。(2年次)
- ・複数の人数で研究することは難しいことも多かったが、いろいろな人の違った考えに触れ、多くの刺激を受けた。将来の自分の役に立つ活動だったと思う。(2年次)
- ・コロナ禍ということで、実験回数や議論の機会が足りず、自分の突き詰めたいところまで突き詰められなかったのが残念でした。また科学部に所属したおかげで、理数系科目の学びの先取りもでき、授業では触れないところまで学ぶことができたため、探究心が一層強くなりました。(2年次)
- ・部活動の時間が楽しくはあったが、これが自分のやりたいことなのかまだわからず、熱中するところまでいかなかった。一方で、学校外のイベントや学会に参加できたことは貴重な体験で、入部してよかったと思う。(2年次)

【振り返りと分析】

本校科学部の活動が、入学前からよく知られるようになり、自然科学に興味や関心を持つ生徒の受け皿になっている。多くの生徒が期待を込めて入部し、その期待通りの評価と充実感が得られているのは、生徒の探究的な活動に向かう姿勢の反映である。一方で、まだ目的が明確ではない生徒は科学部での明確な活動意義を見出せずにいる。今後も引き続き探究的な雰囲気を大切にしながら活動させていきたい。

コロナ禍は、生徒の直接的な体験を奪ってしまった。ZOOMによる発表は、機会の確保という点では救いとなっているが、やはり校外での研修の成果にあるように、対面で議論したり、本物に触れたりする活動を探していきたい。

コロナ禍の中、多くの成果を得たが、生徒にとって満足のいくものではなかったようである。顧問が助言する時間が十分とれなかったことも一因と考えられる。次年度に向けて、しっかりと対話の時間を確保していきたい。

研究論文とポスター

「逆ムペンバ現象」はあるのか、それはどんな温度条件で現れる現象なのか

兵庫県立姫路東高等学校 科学部物理系研究部（逆ムペンバ班）

多田明良 中農拓人 岩本滯治 菅原楓 志村実咲 山浦奈々 藤原萌々美

要 旨

逆ムペンバ現象は、同じ条件で温めた場合、氷が完全に溶け終わるまでにかかる時間が、氷の温度が低いほど相対的に短くなる現象である。さまざまに条件を変えた 81 回の実験から、本研究で逆ムペンバ現象の存在を確認した。逆ムペンバ現象は不規則に起こるが、恒温器内の温度によらず、 -20°C 以下の氷が融解する場合安定的にみられる。氷が溶け始めるまでの時間は、氷の温度が低いほど長く、この関係が逆転することはない。逆転（逆ムペンバ現象）が起こるのは、氷が完全に溶け終わるまでの時間においてである。 0°C 以上の液体状態の精製水では、逆ムペンバ現象はみられない。

氷と恒温器内の温度差が小さいと、氷が完全に融解するまでの時間は、庫内温度が低いほど長くなる。 $10\sim 15^{\circ}\text{C}$ では、氷と恒温器内の温度差が大きいほど逆ムペンバ現象は起こりやすいが、 20°C 以上になると、温度差の大きさと逆ムペンバ現象の起こりやすさに相関関係はみられなくなる。ムペンバ現象に関する先行研究で、その原因として不純物の混入があげられている。今回の実験では精製水を用いており、不純物の混入が逆ムペンバ現象の起こる原因とは考えられない。

キーワード：ムペンバ現象（効果） 逆ムペンバ現象（効果） 恒温器内の庫内温度

1 はじめに

アリストテレスは、熱水を素早く冷ますには、まず熱水を陽の光の中に置いて温めることから始めればよいことを示唆した (Jeng, 2005)。1960 年代に入って、同じ条件で冷却しても、温かい湯が冷たい水よりも相対的に早く凍る現象がみられることが再発見され、これがムペンバ効果によるものとされるようになった (Mpemba and Osborne, 1969・Brownridge, 2011)。その後、Vynnycky and Mitchell (2010) や Pankovic and Kapor (2010) は、ムペンバ現象が一定の条件下でのみ起こることを示したが、その具体的な条件は示していない。コロイド系における実験 (Kumer and Bechhoefer, 2020・Kumar, et al., 2021) や粉体ガス内での実験 (Biswas, et al., 2021) などがおこなわれ、ムペンバ現象は水分子のクラスターによって引き起こされる (Esposito et.al., 2007) とか、相遷移なしでみられる現象である (Gijon, et al., 2019)、冷却過程の原子内の動きの比率の変化によって引き起こされる (Jaehyeok and William, 2015) などが示されたが、そのメカニズムは依然として明らかにされていない。感覚的には、温度が低い液体の方がより早く凝固すると考えられるため、筆者らはこの現象に強い興味をもった。

Kumer and Bechhoefer (2020) はムペンバ現象の議論の最後の部分で、ムペンバ現象とは逆に、同じ温度条件下で温める場合、温度が低い固体の方が温度が高い固体よりも相対的に早く融解して温度が上昇する効果 (inverse Mpemba effect/逆ムペンバ効果) の存在の可能性に触れているが、逆ムペンバ現象の存在は疑わしいとしている。また、Yang and Hou (2020) は、Non-Markovian Mpemba effect として氷に関する同様の現象を紹介し、この現象が不純物の混入によって引き起こされると結論付けている。逆ムペンバ現象に関する研究は、現在最も注目されている新しいテーマである。筆者らは逆ムペンバ現象が本当にあるのかどうか、もしあるのだとすると、その出現する温度条件を明らかにしようと考

え、研究を始めた。

2 実験方法

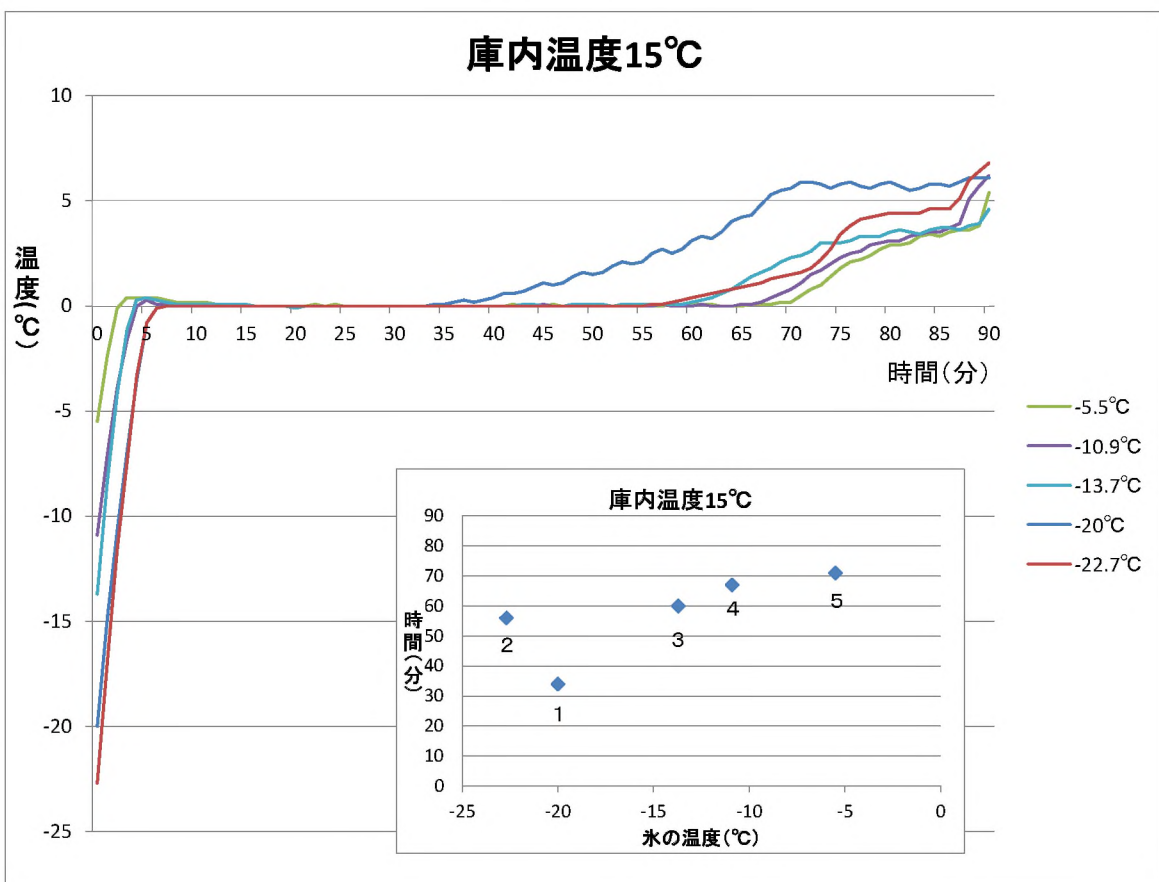
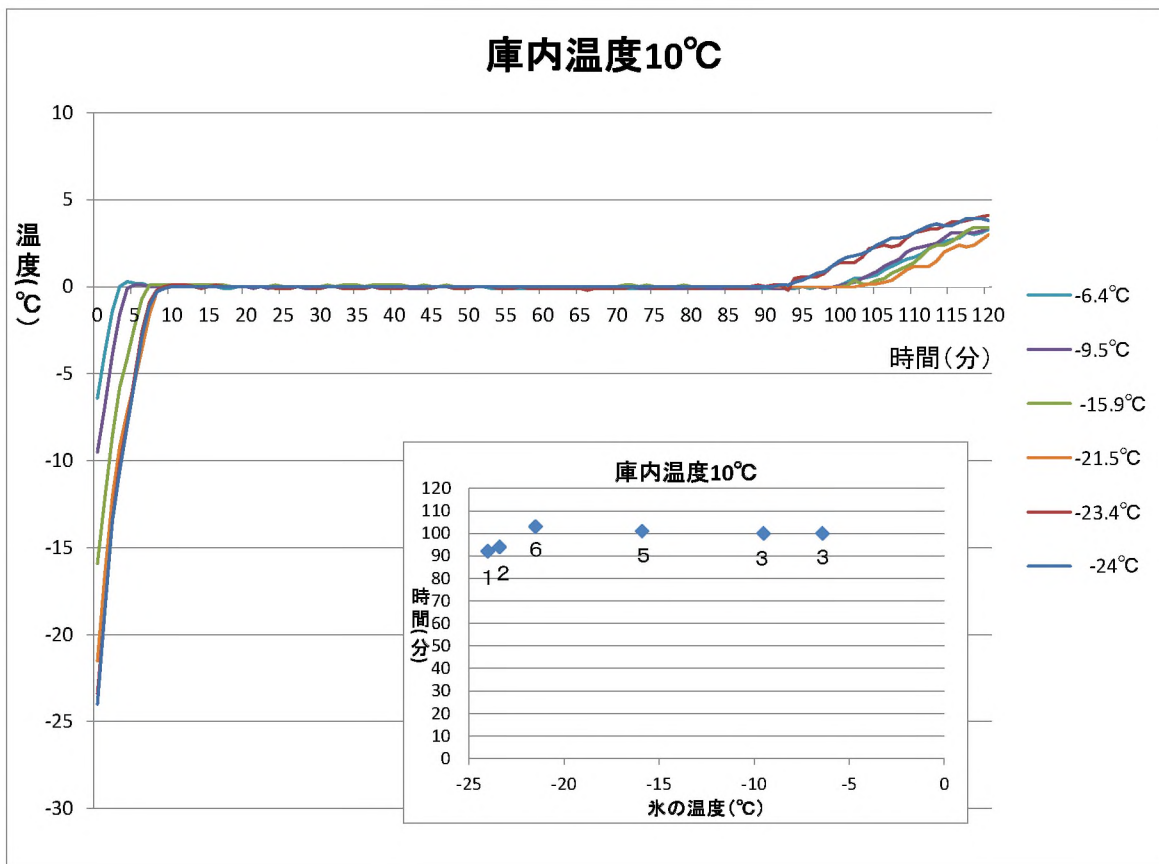
ホールピペットを用いて、精製水を正確に 30ml 測りとり、耐冷製容器に入れた。容器の中央部にデジタル温度計(佐藤計量器製作所社製 SK-1120/熱電対 K-type/分解能 0.1℃/測定範囲-203.3~1368℃/測定精度±0.5%、および宝工業株式会社製ポケットブル複合モード温度計 DIGIMULTI-D611/分解能 0.1℃/測定範囲-43.2~120.7℃/測定精度±0.1℃)を差し込み、測定部分が精製水の中央部に位置するように固定してフィルムで密閉した(図1)。これを SCAN 社製 SFS270A (100V/120W) の冷凍庫内に入れて、木製の板で恒温器内の金属に試料が触れないように調整して静置し、0℃から-25℃まで、さまざまな温度に冷凍庫の冷却温度を設定して、氷の温度が設定温度で平衡状態になって変化しなくなるまで待った。この氷試料を、庫内温度を 10℃から 5℃刻みに 50℃まで設定した恒温器(大冷機工業株式会社製 CDB-14A/100V/269W/温度調節範囲 0.1℃単位で-10~50℃/温度調整設定精度±0.2℃/温度分布±0.5℃)の中に入れて温めながら、氷試料中に挿入されたデジタル温度計で 1 分ごとに温度を 90 分間測定した。また、さまざまな温度の液体状態の精製水についても、同様の実験をおこなった。これらの温度測定と同時に、恒温器内の庫内温度も 1 分ごとに測定した。庫内温度測定用の温度計は、氷に触れている周囲の空気の温度を測定するために、氷を静置した場所に隣接する位置に設置した。さまざまに条件を変えて 81 回実験を繰り返した。

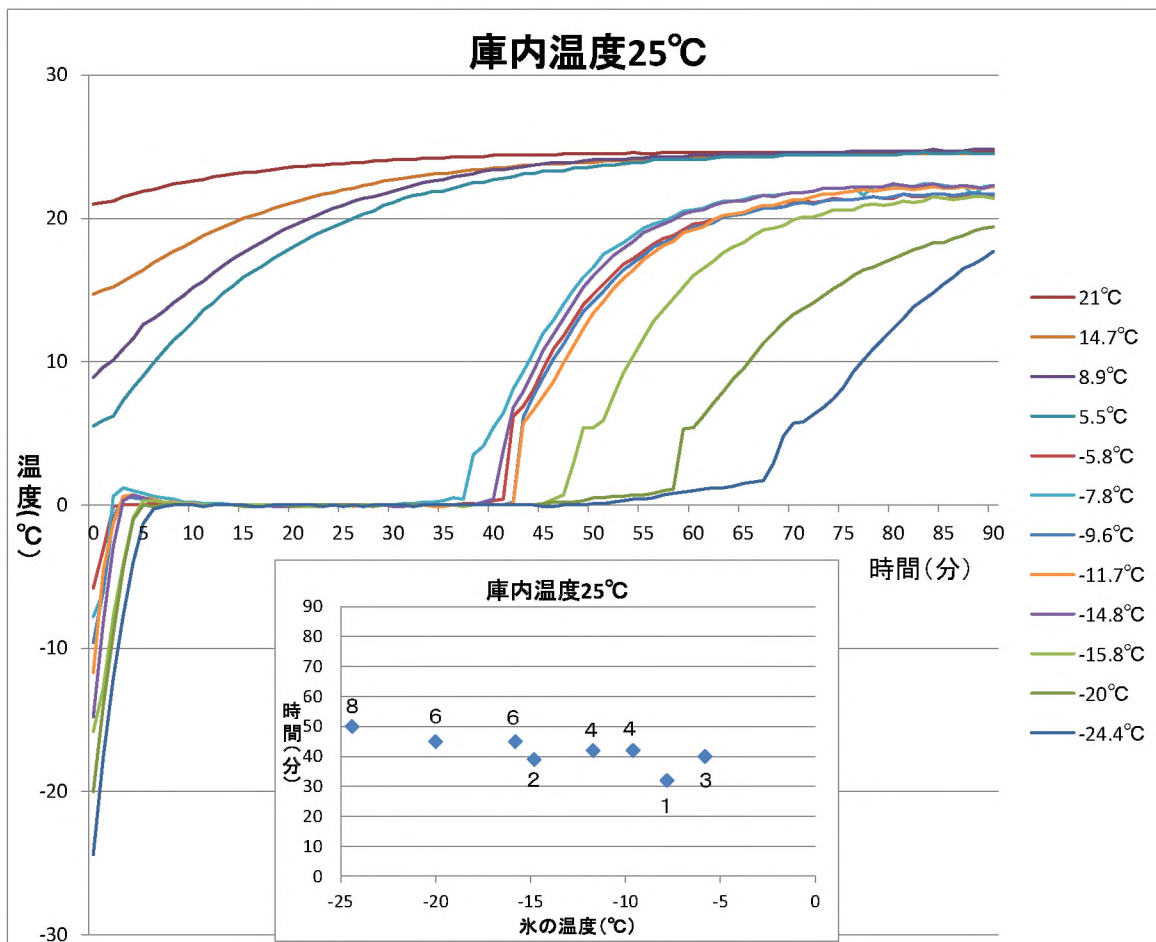
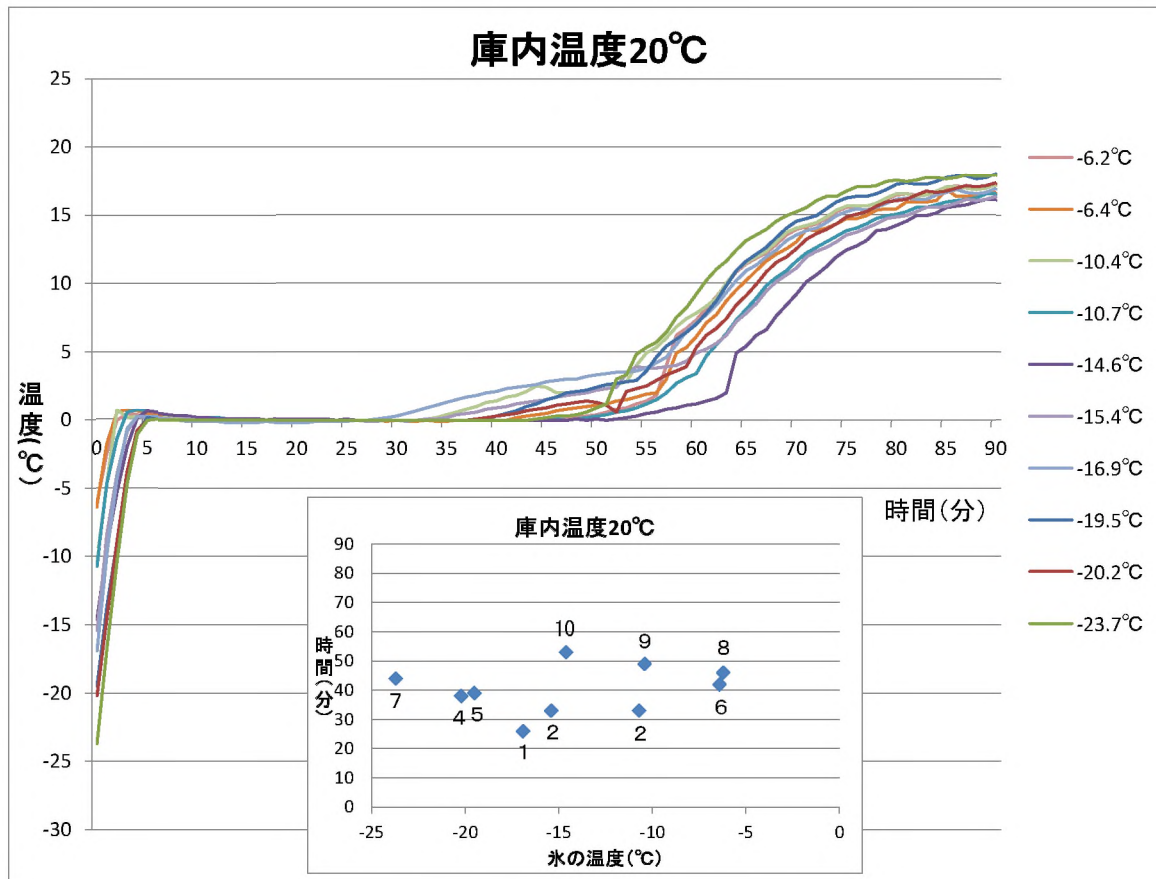


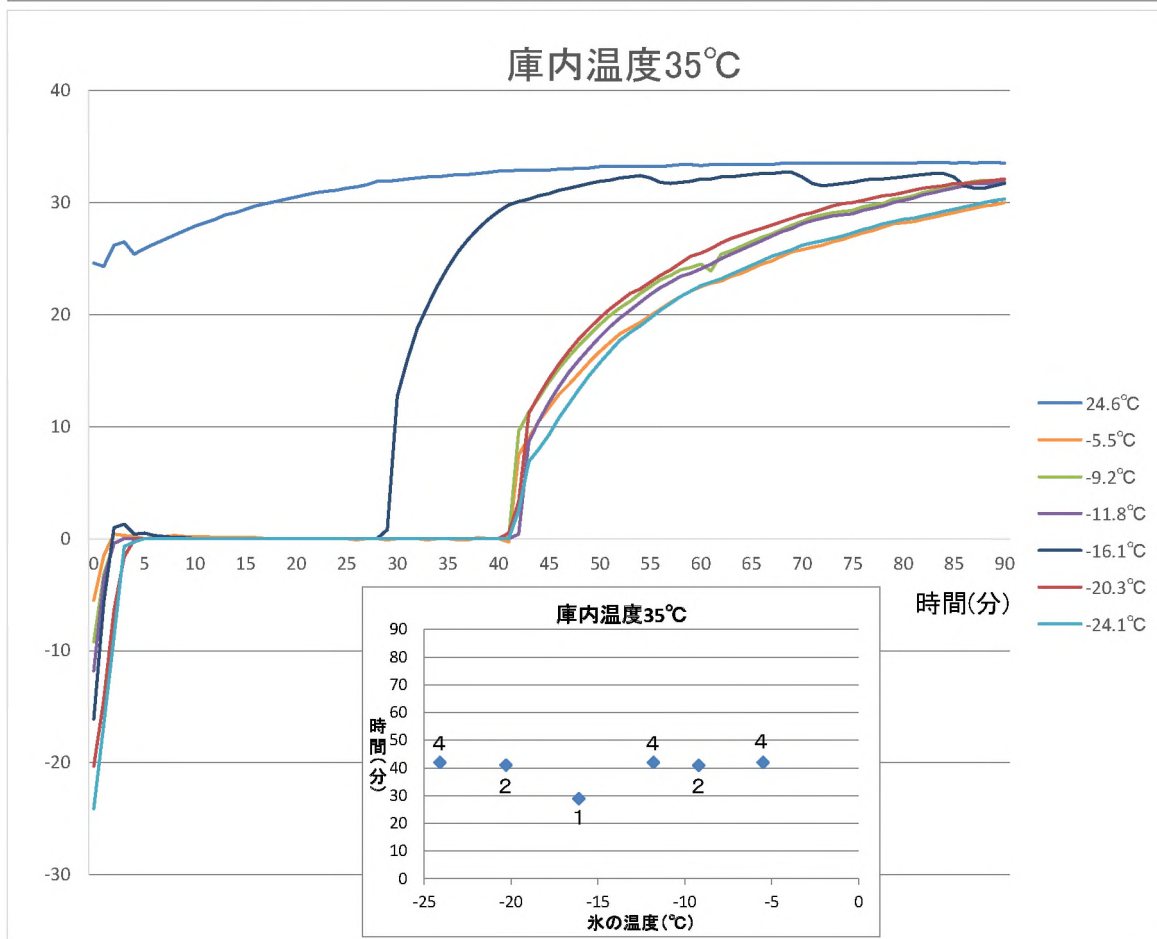
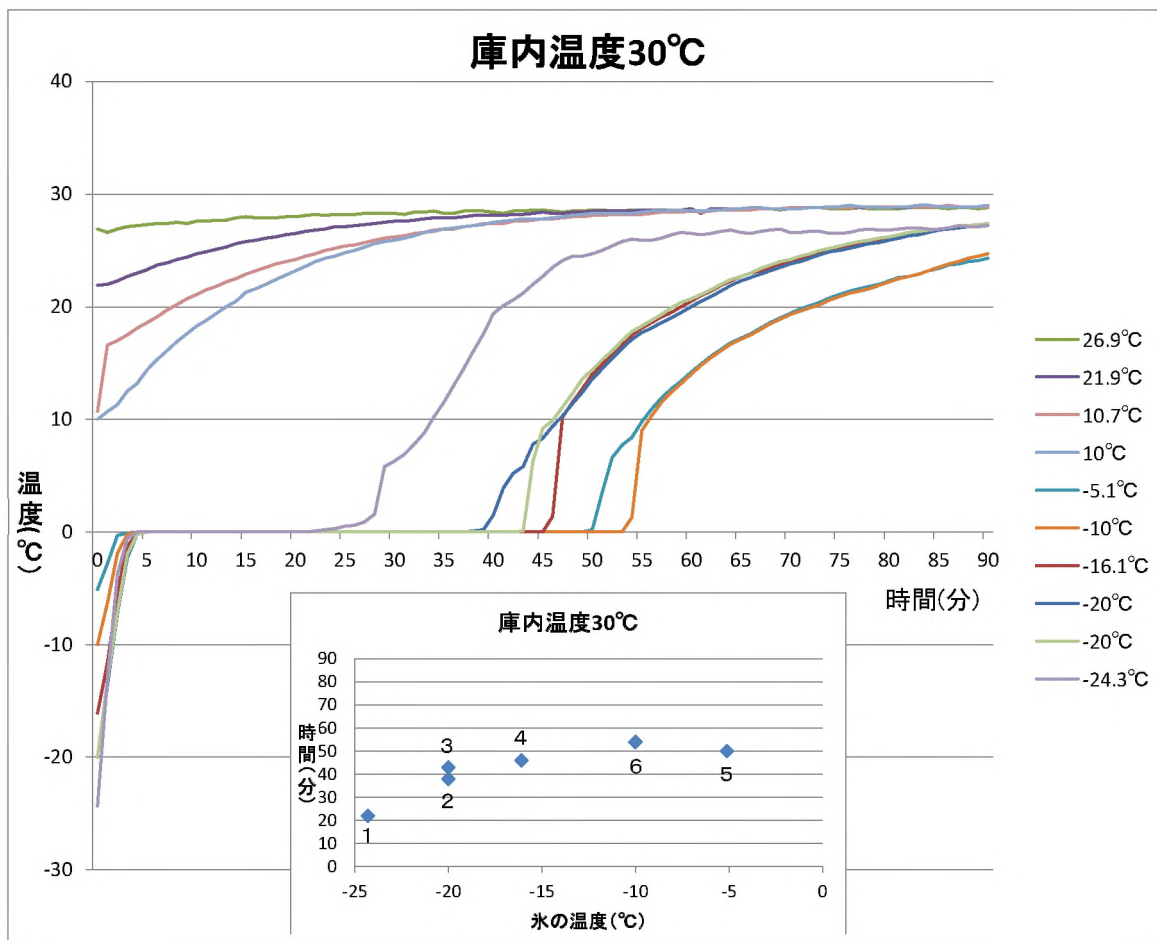
図1 恒温器内で試料を温め、庫内温度と氷や精製水の温度を 1 分ごとに測定する

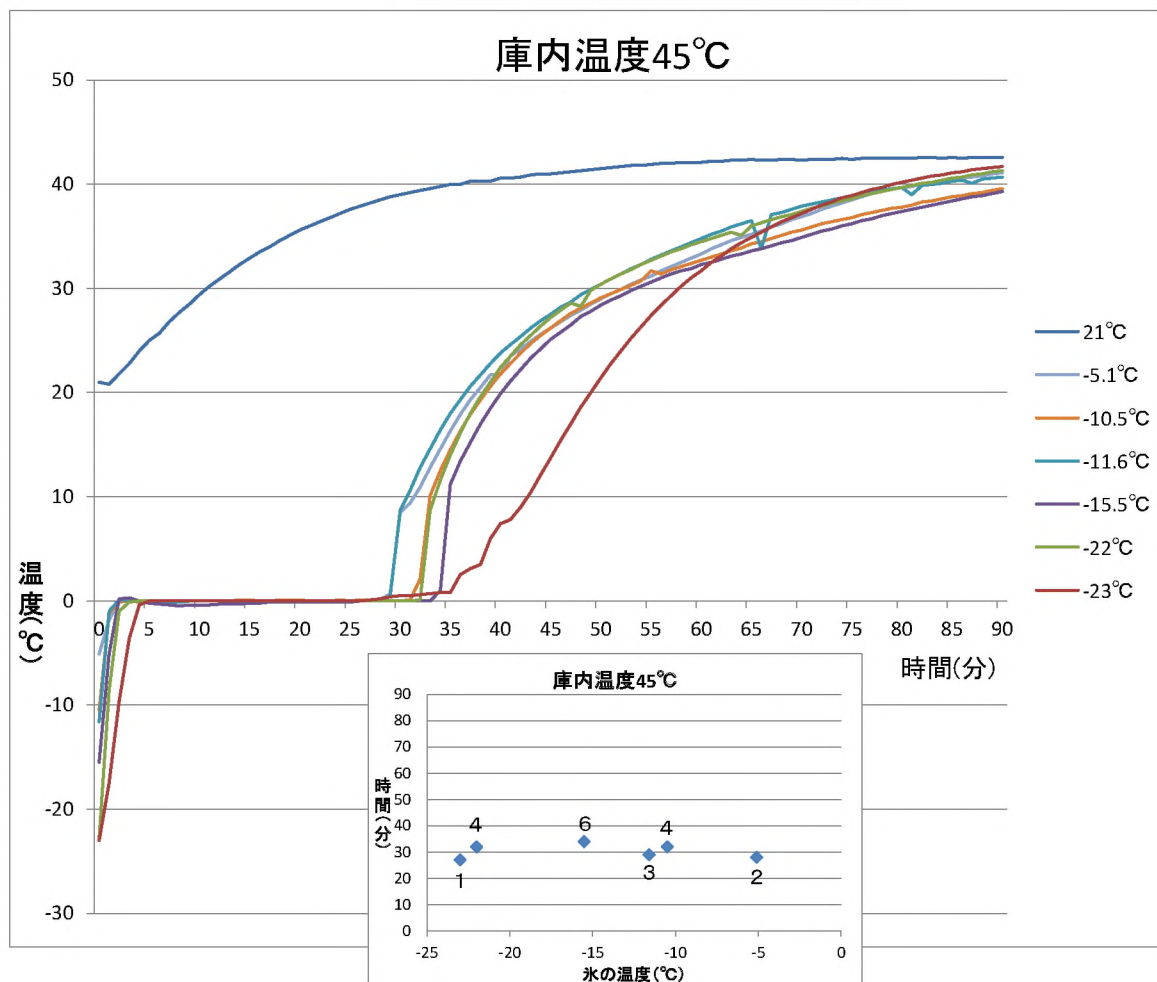
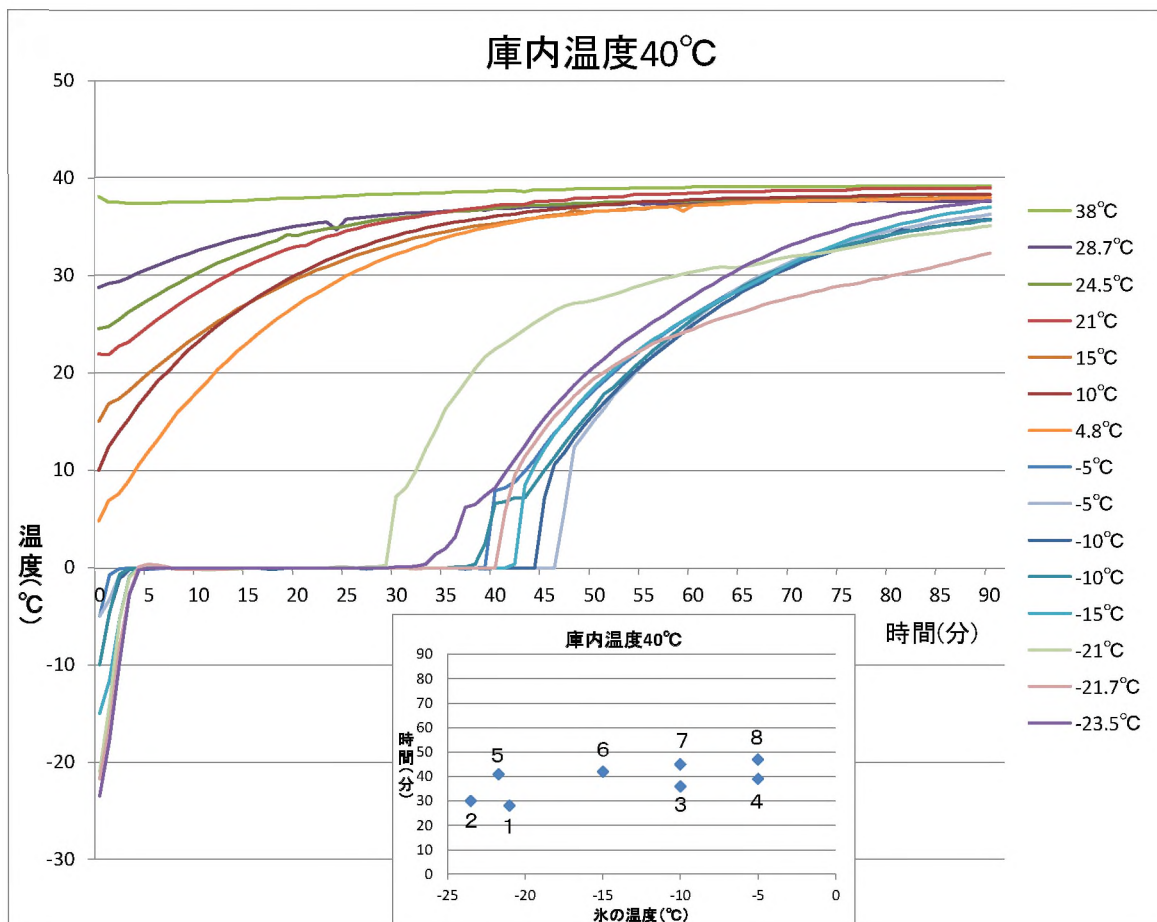
3 実験結果

図2に、恒温器の庫内温度と氷または精製水の 1 分ごとの温度を示す。実測値は紙面の都合で割愛し、資料として添付した。図2のそれぞれのグラフ内の小さいグラフは、さまざまな温度の氷を温めたとき、完全に融解するまでの時間が相対的に早いものから順に番号を打ったものである。このグラフにおいて、右側に位置する番号が左側に位置する番号よりも大きくなる場合が逆ムペンバ現象である。これらをまとめたものが図3である。また、図4に、最初の氷の温度と恒温器内の温度差の関係についてまとめた。









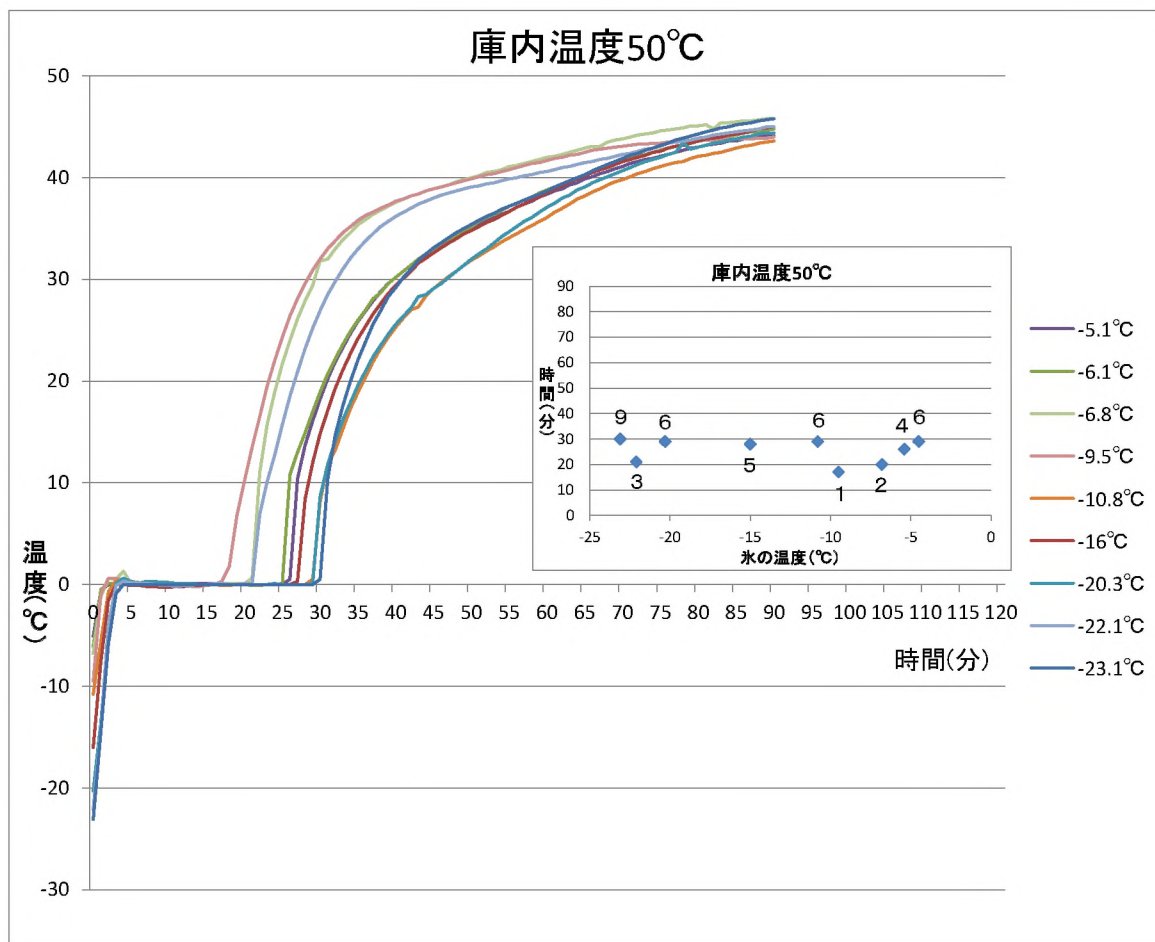


図2 さまざまな温度の水や精製水をさまざまな庫内温度の恒温器内で温めたときの温度変化と恒温器の庫内温度（グラフ内の小さいグラフは、さまざまな温度の水を温めたとき完全に融解するまでの時間が相対的に早いものから順に番号を打ったもの）

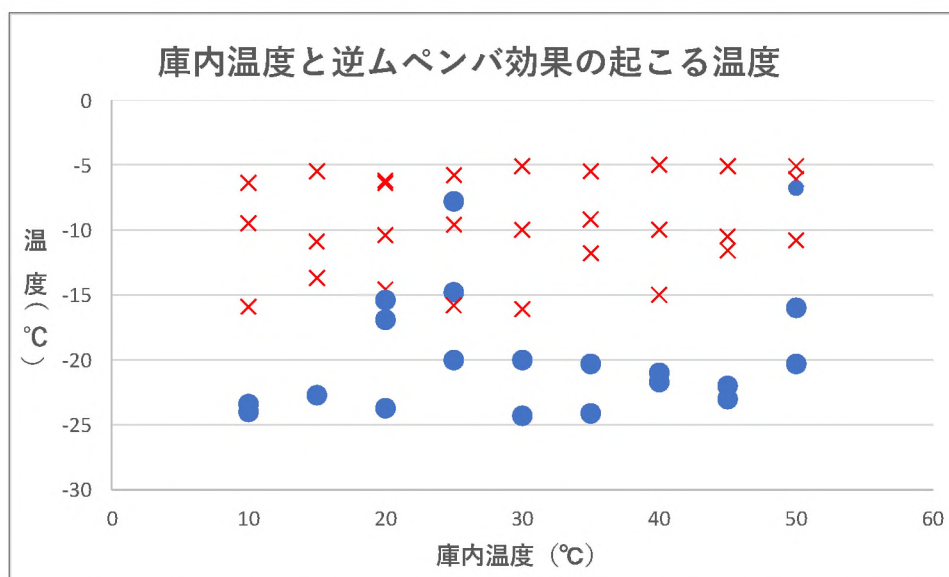


図3 恒温器の庫内温度と逆ムペンバ現象が起こる氷の温度のまとめ（●：起こる、×：起こらない）

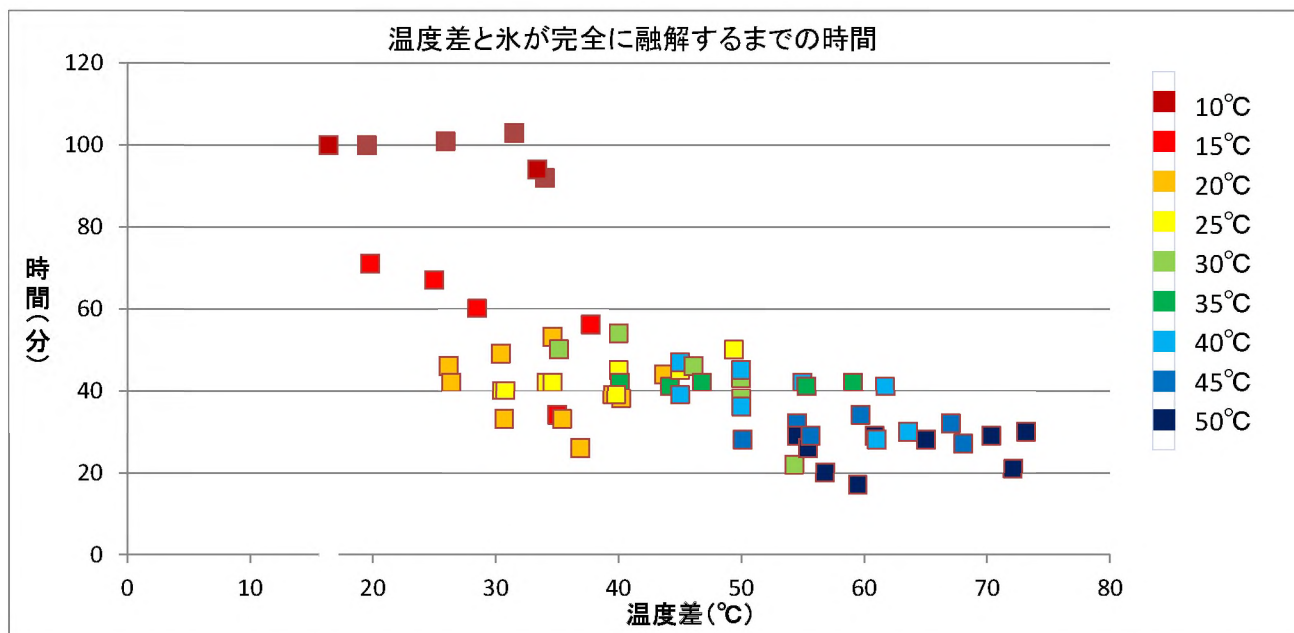


図4 さまざまな庫内温度での初めの氷と庫内の温度差と、完全に氷が融解するまでの時間

4 考察

精製水を凍らせて作った氷を一定の温度条件下で温めると、一般には温度が低い氷ほど温度上昇に時間がかかると考えられるが、筆者らは、同じ庫内温度の条件で温めたにもかかわらず、温度が低い氷の方が温度が高い氷よりも相対的に早く融解する逆ムペンバ現象の存在を確認した。

図2の、恒温器の庫内温度と氷の1分ごとの温度変化をみると、いずれの実験でも、氷が溶け始めるまでにかかる時間は、氷の温度が低いほど長く、この関係が逆転することはない。逆転（逆ムペンバ現象）が起こるのは、氷が完全に溶け終わるまでの時間においてである。0°C以上の液体状態の精製水では、逆ムペンバ現象はみられず、温度の低い精製水ほど恒温器内の温度まで温まるのに時間がかかる。

図3より、逆ムペンバ現象は不規則に起こるが、恒温器の庫内温度によらず、-20°C以下の氷が恒温器内で融解する場合、より温度が高い氷よりも相対的に早く融解する逆ムペンバ現象が安定的に起こっていることがわかる。

図2のそれぞれのグラフ内の小さいグラフで、氷の温度が低い（左側）ほど、恒温器内との温度差は大きい。庫内温度が10~15°Cの場合、温度差が大きいほど逆ムペンバ現象は起こりやすいが、庫内温度が20°C以上になると、温度差の大きさと逆ムペンバ現象の起こりやすさに相関関係はみられなくなる。図4の、最初の氷の温度と恒温器内の温度差をみると、温度差が大きいほど、恒温器内の温度の違いによるバラツキは小さくなり、早く平衡状態になろうとして氷は早く融解する。温度差が小さいほど、氷が完全に融解するまでの時間は、恒温器内の庫内温度の影響を強く受け、庫内温度が低いほど、氷が完全に融解するのに必要とされる時間は長くなる。

ムペンバ現象に関する多くの先行研究で、その原因として不純物の混入があげられている。今回の実験では精製水を用いており、不純物の混入が逆ムペンバ現象の原因とは考えられない。

5 今後の課題

今回測定した結果から、さまざまな温度の水が融解するまでに必要とされた熱量を計算して比較したい。また、今回は精製水から作った氷について調べたが、さまざまな成分を含んだ精製水から作った氷では、今回の結果と異なる可能性がある。ムペンバ現象に関する先行研究では、不純物が混入した液体では、不純物が核になって早く氷になることが示されている。逆ムペンバ現象における不純物の影響についても調べたい。

6 参考文献

- Biswas, A., Prasad, V. V. and Rajesh, R. (2021) Mpemba effect in an anisotropically driven granular gas (Cond-mat.stat-mech, 18, 1-5)
- Brownridge, J. D. (2011) A search for the Mpemba effect: When hot water freezes faster than cold water (Amer. Journ. Physics, 79, 78)
- Esposito, S., De Risi, R. and Somma, L. (2007) Mpemba effect and phase transitions in the adiabatic cooling of water before freezing (Physics. Chem.-ph, 11, 1-4)
- Gijon, A., Lasanta, A. and Hernandez, E. R. (2019) Paths towards equilibrium in molecular systems: a mesoscopic Mpemba-like effect in water (Cond-mat.mtrl-Sci, 26, 1-5)
- Jaehyeok, J. and William, A. G. (2015) Mechanisms underlying the Mpemba effect in water from molecular dynamics simulations (J. Phys. Chem. C, 119(5), 2622-2629)
- Jeng, M. (2005) The Mpemba effect: When can hot water freeze faster than cold? (Amer. J. Phys. 74, 514-522)
- Kumar, A. and Bechhoefer, J.(2020) Exponentially faster cooling in a colloidal system (Nature, Vol.584, 64-68)
- Kumar, A., Chetrite, R. and Bechhoefer, J.(2021) A nomalous heating in a colloidal system (Cond-mat.stat-mech, 26, 1-8)
- Mpemba, E. B. and Osborne, D. G. (1969) Cool? (Physics of Education. 4, 172-175)
- Pankovic, V. and Kapor, D. V. (2010) A modification of the Newton's cooling law and Mpemba effect (Phys. Gen-ph, arXiv: 1005, 1013v1)
- Vynnycky, M. and Mitchell, S. L. (2010) Evaporative cooling and the Mpemba effect (Springer-Verlag, Heat Mass Transfer, 46: 881-890)
- Yang, Z. Y. and Hou, J. X. (2020) Non-Markovian Mpemba effect in mean-field systems (Phys. Rev. E 101, 052106)

7 謝辞

本研究をおこなうにあたって、本校科学部顧問の川勝和哉主幹教諭には有益な議論をしていただいた。ここに記して謝意を表する。

Conditions for Producing an “Inverse Mpemba Effect”

Himeji Higashi Prefectural Senior High School, Hyogo Science Club Physics Research Team
Tada Akira Nakano Hiroto Sugawara Kaede Shimura Masaki Yamaura Nana Fujiwara Hohomi

Keyword

- Mpemba Effect: When waters of different temperatures are frozen under the same conditions, the time it takes for the water to freeze is relatively lower for higher initial temperatures.
- Inverse Mpemba Effect: When the ices of different temperature are warmed under the same conditions, the time taken for complete melting is shorter for lower initial temperatures.

Motive · Purpose

The Mpemba Effect is counterintuitive and interesting. The existence of the Inverse Mpemba Effect even more so, and its existence is not yet confirmed. This research project was aimed at confirming and investigating the effect.

Method

1. Thermometers were set in the centers of vessels containing 30ml of distilled water. (Fig.1)
2. These were then held at temperatures from 0°C to -25°C until the ice reached equilibrium.
3. The ices were then placed in a temperature-controlled incubator and the temperatures of the ices and the incubator were recorded every minute for 90 minutes.
4. The experiment was repeated for incubator temperatures between 10 and 50 °C in 5 °C increments.
5. The same experiments were conducted on purified water in a liquid state.



Fig.1: Equipment used in the experiment

Results

Fig.2 shows the recorded temperatures. The data are numbered in order of time taken to completely melt. If the number located to the right is higher than that to the left, the Inverse Mpemba Effect is observed. Fig.3 summarizes this data. Fig.4 summarizes the relationship between the initial temperature of ice and the temperature difference to the incubator.

Discussion

- We confirmed the existence of the Inverse Mpemba Effect; that lower temperature ice melts relatively faster under certain conditions.
- Lower temperature ices are slower to start melting in all experiments. The Inverse Mpemba Effect only appears in the time it takes for the ice to finish melting completely.
- Purified water above 0°C doesn't show any Inverse Mpemba effect, and it takes longer for colder samples to warm.
- According to Fig.3, the Inverse Mpemba Effect always appears when the ice below -20°C melts in an incubator regardless of incubator temperature.
- For incubator temperatures 10~15°C, there is a small correlation between incubator-ice temperature difference and the occurrence of the effect (Fig. 2). No correlation is observed for incubator temperatures above 20°C.
- Variation in melting time due to ice-incubator temperature differences is small (Fig.4). The time needed for the ice melt completely is longer for lower incubator temperatures.
- Many studies attribute the Mpemba Effect to impurities. We used distilled water, so we don't conclude that impurity incorporation is the cause of the Inverse Mpemba Effect.

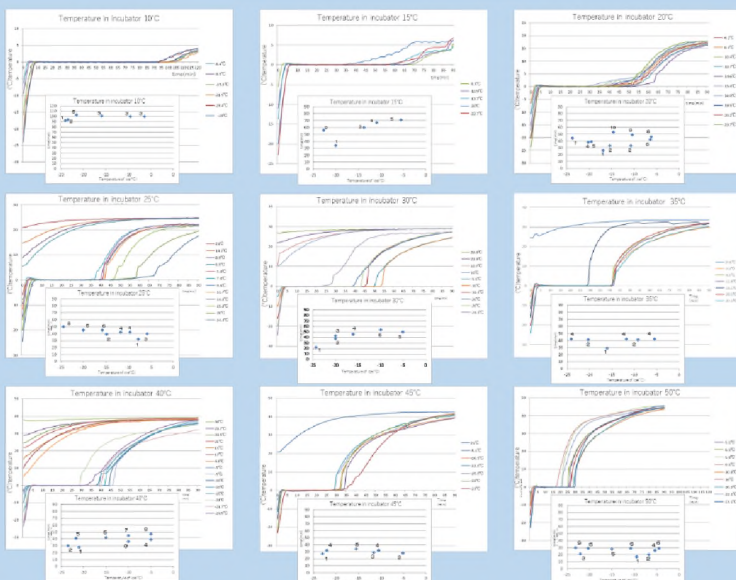


Fig.2 Temperature changes over time. The subgraphs show the order in which ices melted.

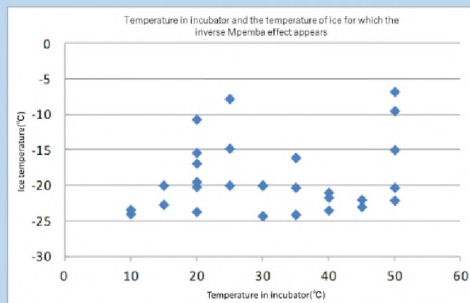


Fig.3 Incubator and ice temperatures for which the IME was observed

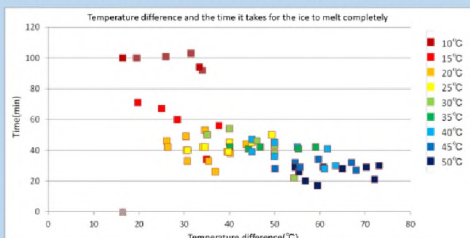


Fig.4 Melt time vs. temperature differences

Future work

We need to do further experiments to measure heat transfer. We also intend to investigate the effects of impurities on the Inverse Mpemba Effect.

Acknowledgment

Our thanks to our advisor, Mr. Kazuya Kawakatsu.

References

1. Biswas, A., Prasad, V. V. and Rajesh, R. (2021) Mpemba effect in an anisotropically driven granular gas (Cond-mat.stat-mech, 18, 1-5)
2. Brownridge, J. D. (2011) A search for the Mpemba effect: When hot water freezes faster than cold water (Amer. Journ. Physics, 79, 78)
3. Esposito, S., De Risi, R. and Somma, L. (2007) Mpemba effect and phase transitions in the adiabatic cooling of water before freezing (Physics.Chem.-ph, 11, 1-4)
4. Gjon, A., Lasanta, A. and Hernandez, E. R. (2019) Paths towards equilibrium in molecular systems: a mesoscopic Mpemba-like effect in water (Cond-mat.mtrl-Sci, 26, 1-5)
5. Jaehyok, J. and William, A. G. (2015) Mechanisms underlying the Mpemba effect in water from molecular dynamics simulations (J. Phys. Chem. C, 119(5), 2622-2629)
6. Jeng, M. (2005) The Mpemba effect: When can hot water freeze faster than cold? (Amer. J. Phys. 74, 514-522)
7. Kumar, A. and Bechhoefer, J. (2020) Exponentially faster cooling in a colloidal system (Nature, Vol.584, 64-68)
8. Kumar, A., Chetrite, R. and Bechhoefer, J. (2021) Anomalous heating in a colloidal system (Cond-mat.stat-mech, 26, 1-8)
9. Mpemba, E. B. and Osborne, D. G. (1969) Cool? (Physics of Education, 4, 172-175)
10. Panikovic, V. and Kapor, D. V. (2010) A modification of the Newton's cooling law and Mpemba effect (Phys. Gen-ph, arXiv: 1005.1013v1)
11. Takada, S., Hayakawa, H. and Santos, A. (2021) Mpemba effect in inertial suspensions (Cond-mat.Stat-mech, 10, 1-28)
12. Vymnycky, M. and Mitchell, S. L. (2010) Evaporative cooling and the Mpemba effect (Springer-Verlag, Heat Mass Transfer, 46: 881-890)
13. Yang, Z. Y. and Hou, J. X. (2020) Non-Markovian Mpemba effect in mean-field systems (Phys. Rev. E 101, 052106)

サボテンの刺座の配列に規則性はあるのか

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）

前田智彦 岸上葉菜 武内優果 本脇敬人 山本悠介 吉田龍之介

要 旨

多くの植物の葉は、茎に対して決まった位置関係で配置している。サボテンの刺座は葉が変化したものであるため、同様に数理的な規則性をもって配列しているのではないかと考え、10種類のサボテンを用いて研究をおこなった。刺座は真上から見て、中央（原点）から左右に螺旋を描いて配列している。左回りの刺座の配列と右回りの配列は、共有刺座で出会いながら下方に伸びている。同一個体であれば、環境によって水分量や個体の大きさが変わっても、刺座の配列の位置関係は変わらない。真上から見た際の刺座の水平座標や、真横から見た際の刺座間の距離は個体ごとに異なり、共有刺座間のなす中心角にも規則性は見られない。系統樹における種の位置づけと刺座の配列にも規則性は見られない。サボテンは太い茎につく刺座が他の植物より多く、茎部分の形状などの個性によって刺座の位置が受ける影響は他の植物よりも大きい。それぞれのサボテン種本来の形状をもつ個体を調べることで、規則性が明らかになる可能性がある。

キーワード：刺座 共有刺座 螺旋 系統樹

1 はじめに

筆者らは、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サボテン（[図1](#)）に強い興味をもった。展示されている複数の種類のサボテンの刺座が、螺旋を描いて配列しているように見えたからである。多くの動植物で、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



[図1](#) 筑波実験植物園のサボテン

している（東川, 1989）。また荒谷ほか（2014）は、ダイオウマツとアカマツ、クロマツとの比較において、いずれも松毬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。そこで、種による共通の特徴や種ごとの相違点が種間距離を反映しているのではないかと考え、サボテンの刺座の配列を調べて、種ごとに比較してみることにした。

2 測定方法

次の10種類のサボテンについて、刺座の位置を測定した。測定した試料（[図2](#)）は、武倫柱（プリンチュウ/*Pachycereus pringlei*）、金晃丸（キンコウマル/*Parodia leninghausii*）、金青閣（アズレウス/*Pilosocereus pachycladus*）、墨烏帽子（スミエボシ/*Opuntia rubescens*）、雷鳥丸（ライチョウマル/*Mammillaria jonstonii* var. *sancarlensis*）、大福丸（ダイフクマル/*Mammillaria perbella*）、紫太陽（ムラサキタイヨウ/*Echinocereus rigidissimus* var. *rubescens*）、新天地（シンテンチ/*Gymnocalycium saglionis*）、福祿竜神木（フクロクリュウジンボク/*Myrtillocactus geometrizans*）、英冠丸（エイカンマル/*Notocactus magnificus*）である（スパンタナーノン, 2018）。



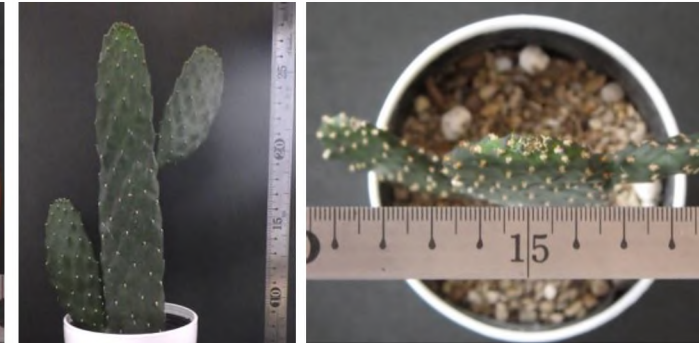
武倫柱



金晃丸



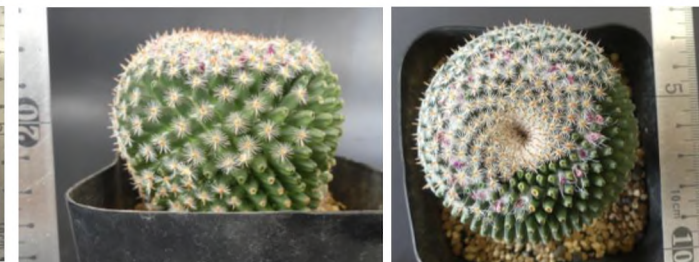
金青閣



墨烏帽子



雷鳥丸



大福丸



紫太陽



福祿竜神木



新天地





英冠丸

図2 測定したサボテンの試料

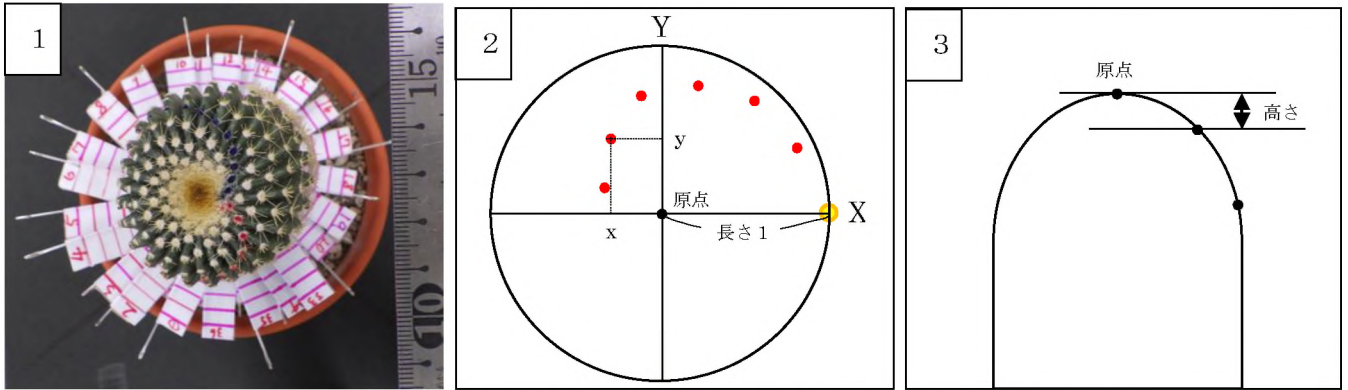


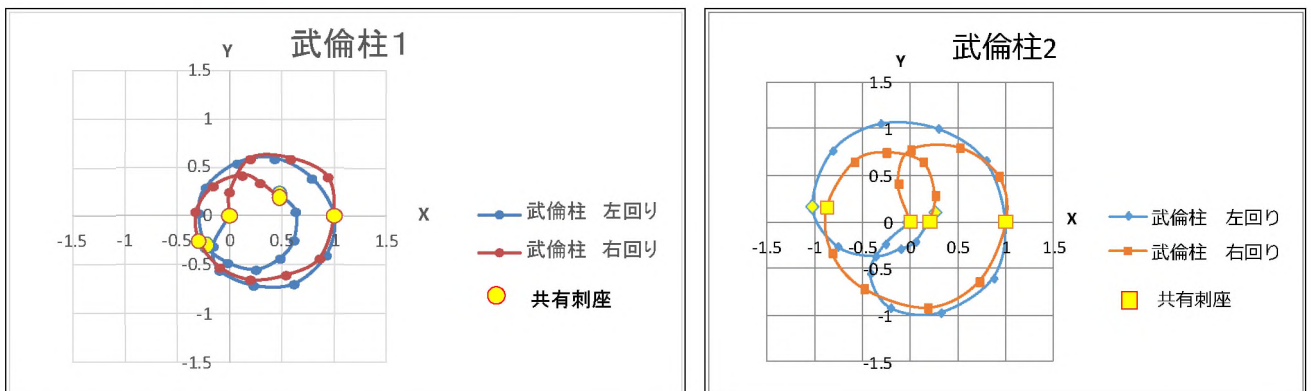
図3 刺座の位置の確認のしかた (●は1つ目の共有刺座、丸は刺座)

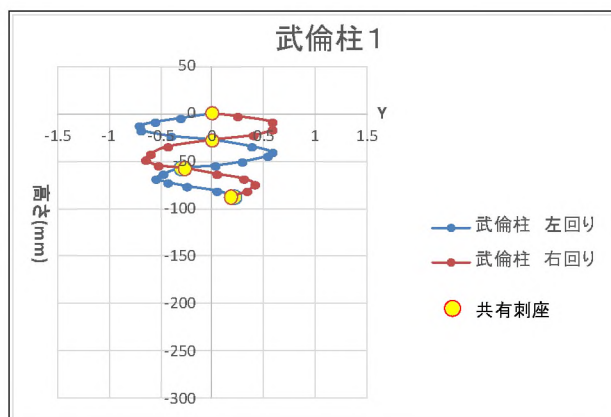
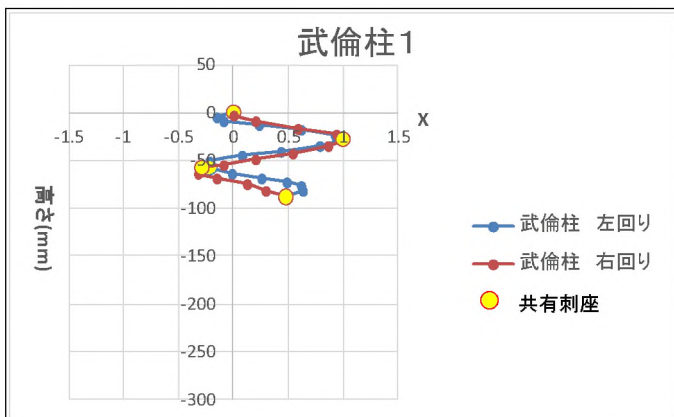
真上から見たとき、すべての種のサボテンで、中央部に位置する刺座を基準(原点)として、刺座は左回りと右回りに螺旋状に配列し、共有刺座で会いながら下方に伸びている。刺をハサミで切り取り、左回りの刺座を青色に、右回りの刺座を赤色に色付け、刺座に垂直に針を刺して、刺座の位置が確認しやすいようにした(図3-1)。その後、原点と1つ目の共有刺座とを結ぶ線分をX軸、これに直角な線分をY軸とし、異なる種のサボテンを比較するために、原点と1つ目の共有刺座間の距離を1として、左回りと右回りに、それぞれの刺座の位置の座標を求めた(図3-2)。さらに、サボテンを真横から見て、原点と刺座まで、あるいは刺座間の高さの差を「高さ(mm)」として測定した(図3-3)。

3 結果

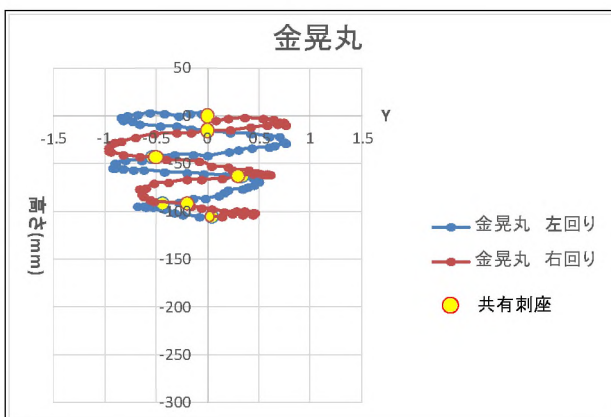
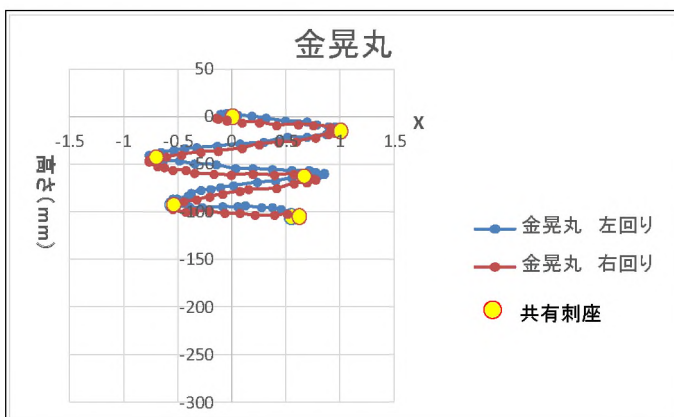
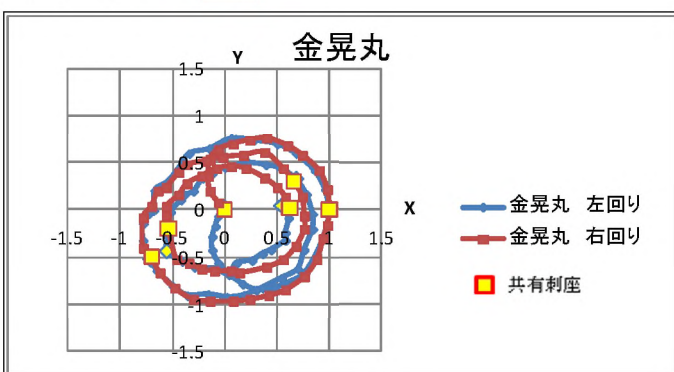
それぞれのサボテンについて、図4～図13に結果をグラフで示した。実測値はページ数の都合で割愛し、資料として別添する。x-y図は、サボテンを真上から見たときの刺座の配置を座標で示したものである(共有刺座を黄色で示した)。X-高さ、およびY-高さのグラフは、それぞれのサボテンを真横から見たときの刺座の配置を、ひとつめの共有刺座までの水平距離を1として示した。

(1) 武倫柱(図4)

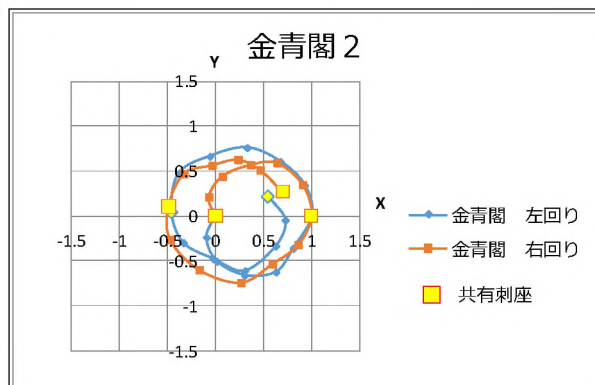
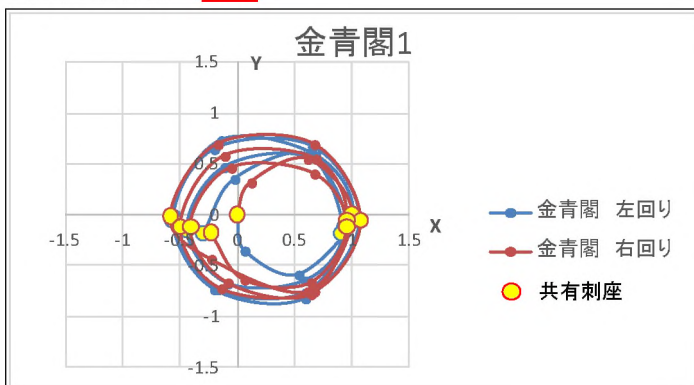


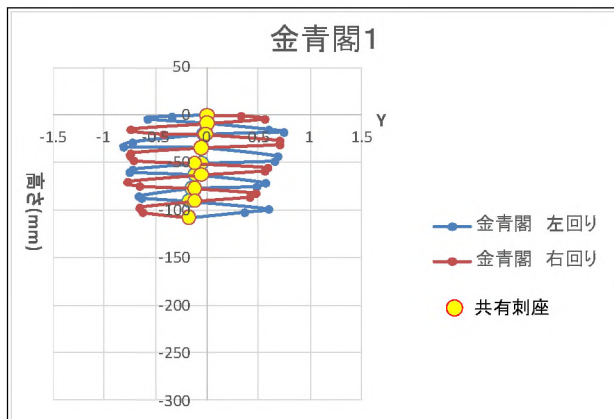
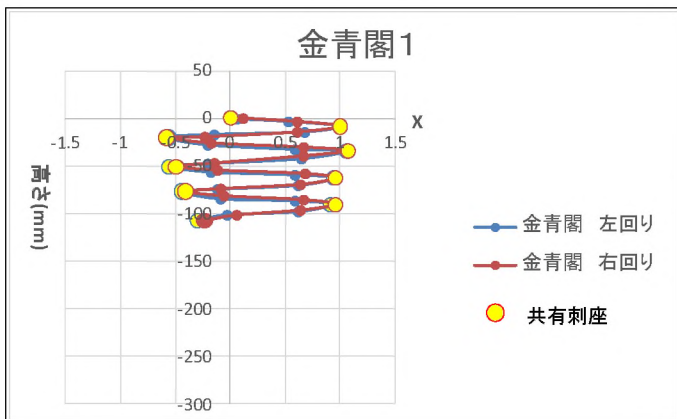


(2) 金晃丸 (図5)

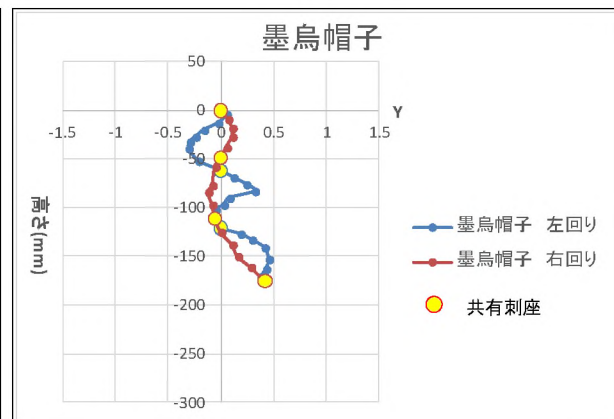
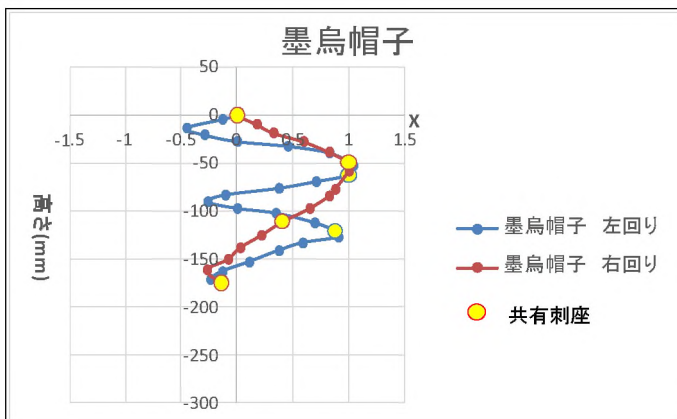
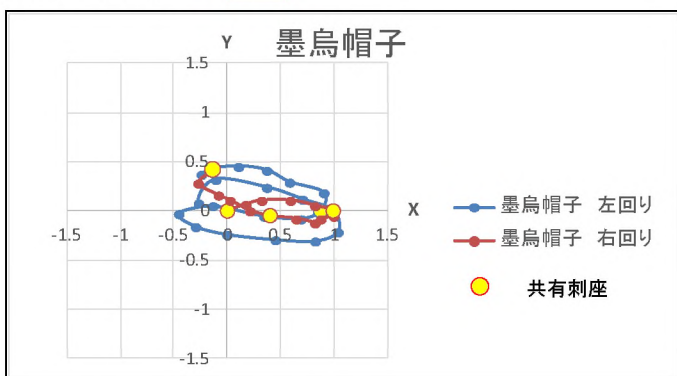


(3) 金青閣 (図6)

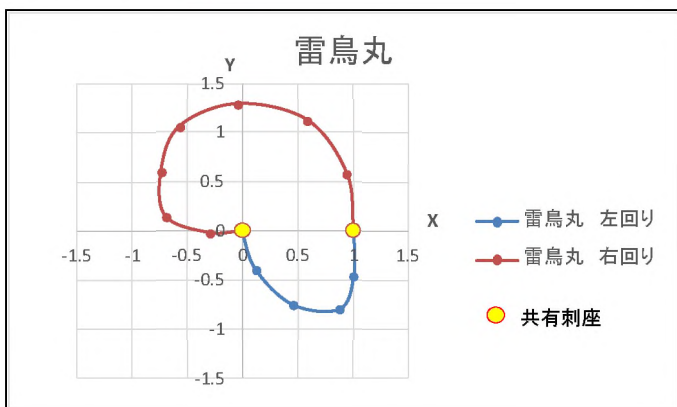


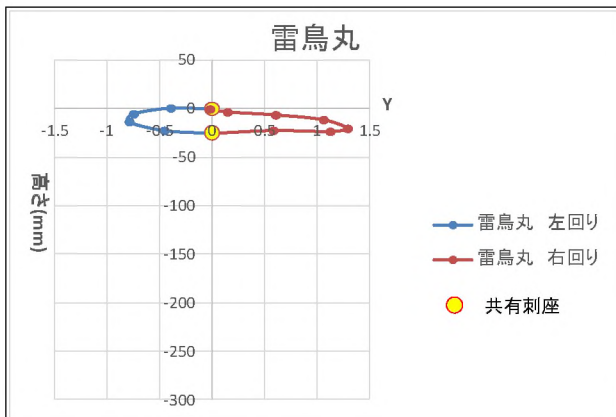
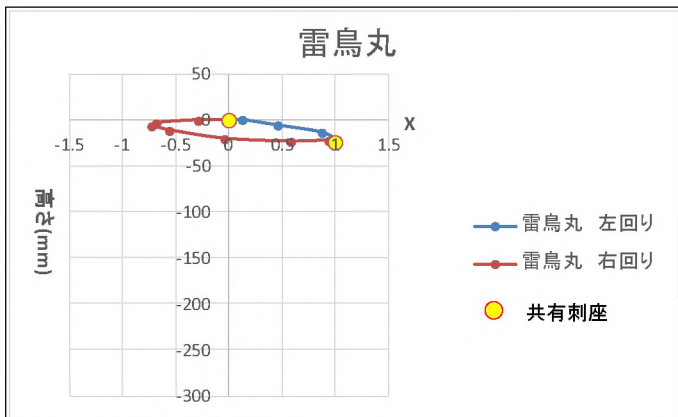


(4) 墨烏帽子 (図7)

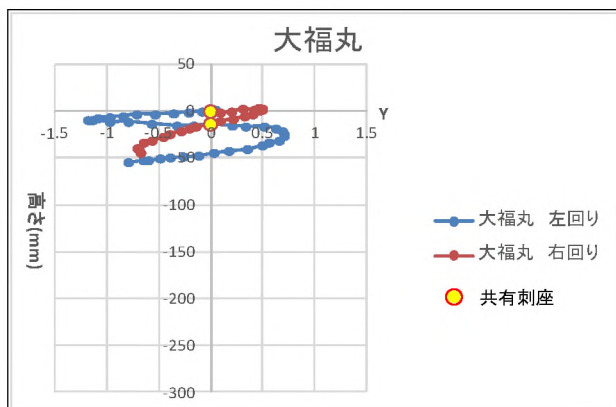
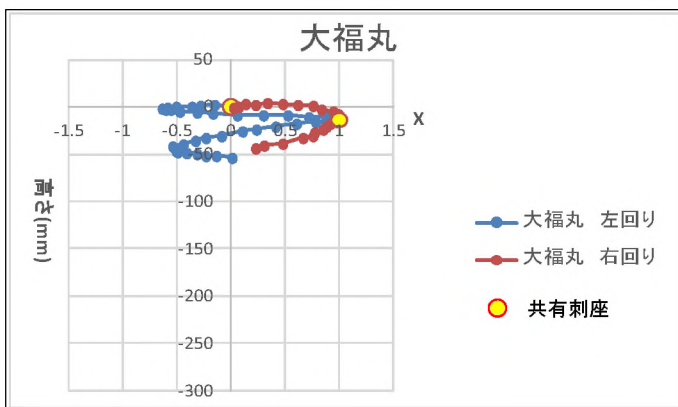
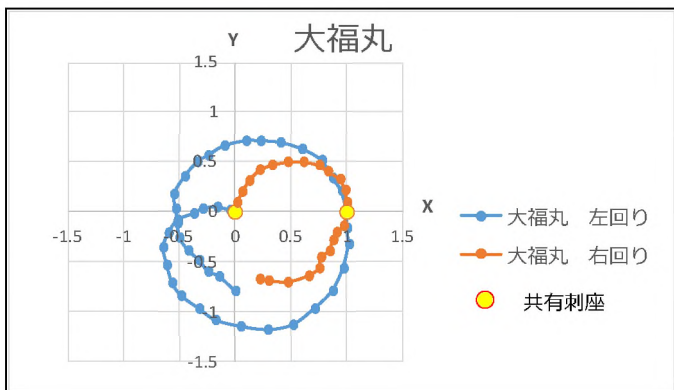


(5) 雷鳥丸 (図8)

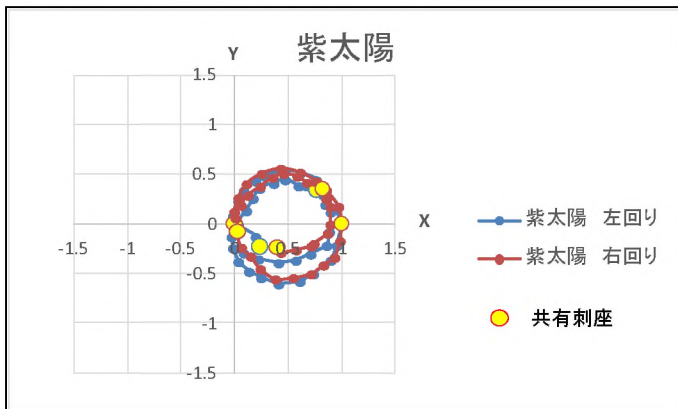


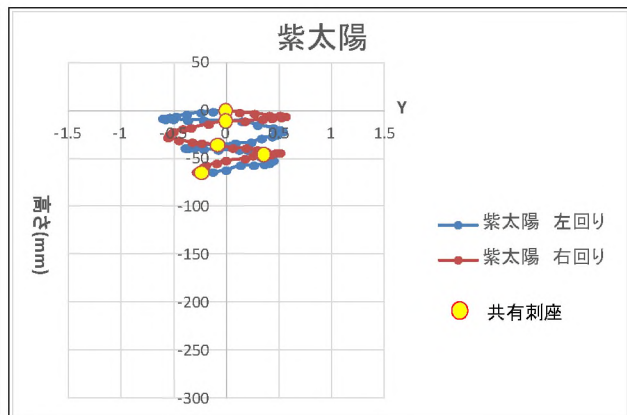
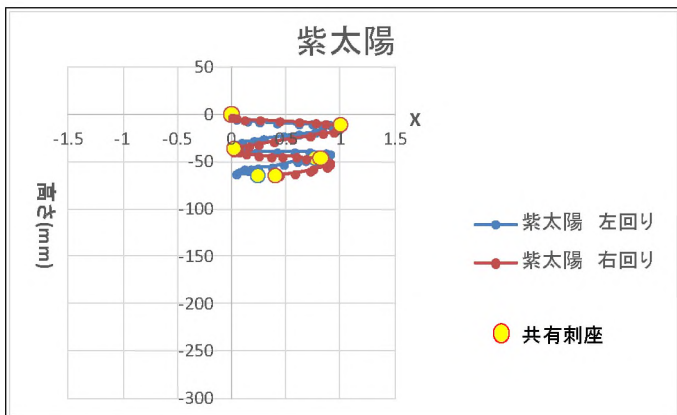


(6) 大福丸 (図9)

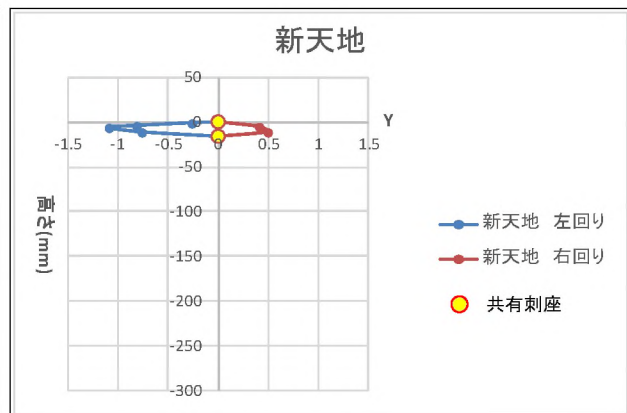
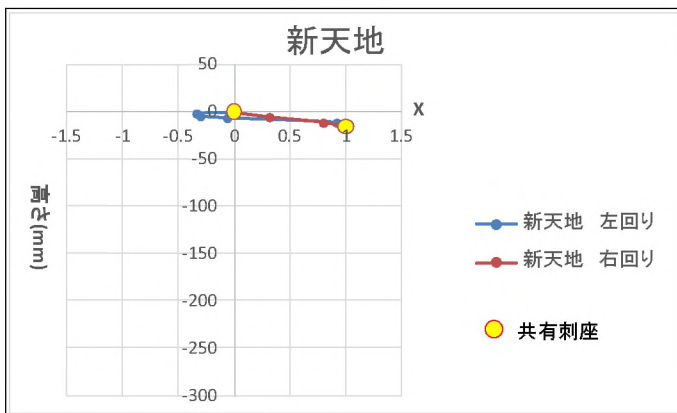
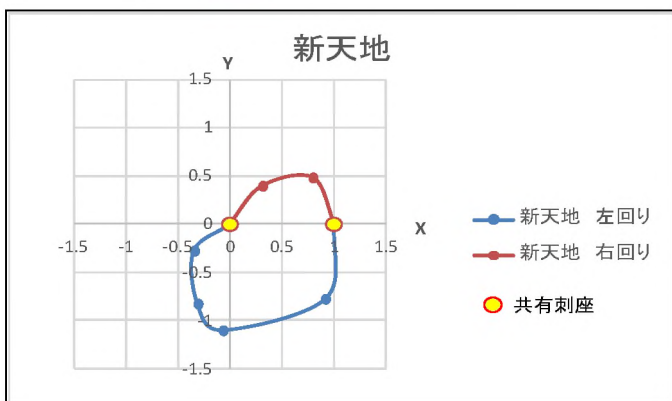


(7) 紫太陽 (図10)

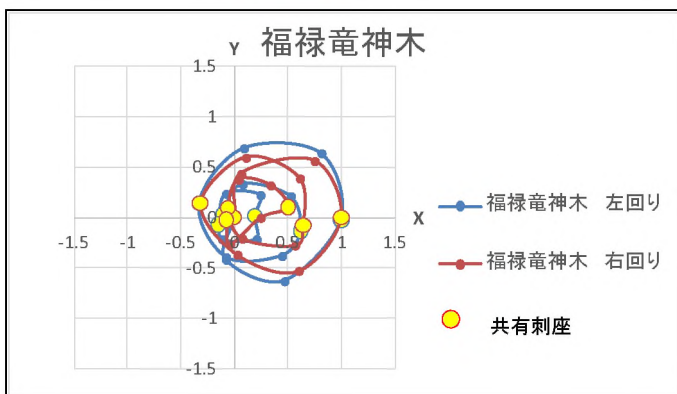


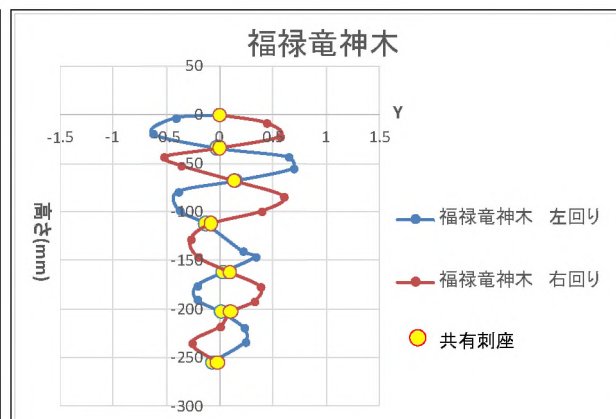
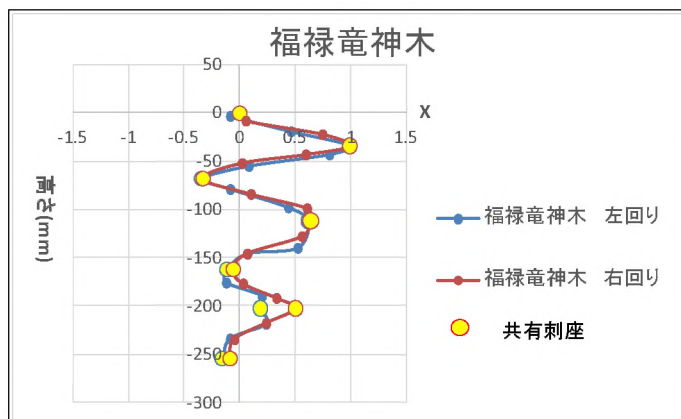


(8) 新天地 (図 11)

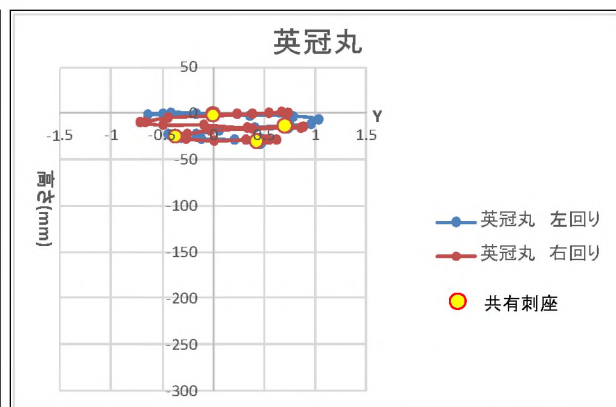
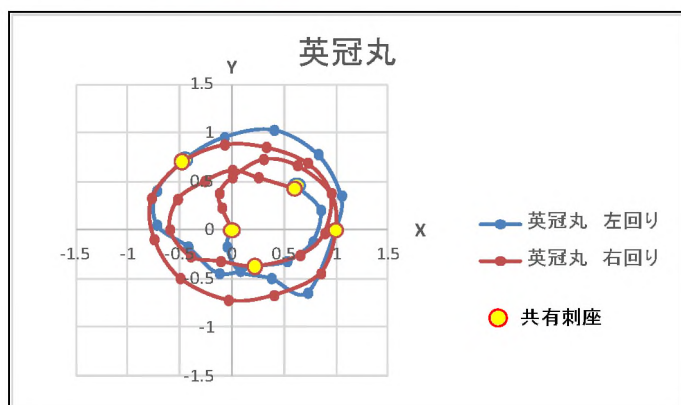


(9) 福祿竜神木 (図 12)





(10) 英冠丸 (図 13)



計測した刺座の座標をもとに、1つ目の共有刺座を基準として、左回りと右回りの螺旋で、真上から見た共有刺座間のなす中心角を表1にまとめた。雷鳥丸と新天地は共有刺座が1つしかないため、表から外してある。いずれのサボテンも、規則的な角度を示さない。なお、同一個体であれば、環境によって水分量や個体の大きさが変わっても、刺座の配列の位置関係は変わらないことを確認した。

表1 サボテンの種類ごとの共有刺座間の角度

種類	左右	1つ目	2つ目	3つ目	4つ目	5つ目	6つ目	7つ目
		~2つ目	~3つ目	~4つ目	~5つ目	~6つ目	~7つ目	~8つ目
武倫柱	左	233°	151°					
	右	138°	201°					

金晃丸	左	217°	169°	192°	146°			
	右	144°	192°	184°	198°			
金青閣	左	183°	174°	189°	167°	205°	151°	222°
	右	179°	184°	164°	196°	161°	203°	136°
墨烏帽子	左	360°	165°					
	右	8°	244°					
大福丸	左	238°						
	右	69°						
紫太陽	左	297°	88°	292°				
	右	72°	264°	54°				
福祿竜神木	左	158°	191°	174°	202°	201°		
	右	203°	164°	231°	110°	176°		
英冠丸	左	122°	179°	95°				
	右	236°	183°	266°				

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る。刺座は螺旋を描いて配列しているように見える。多くの植物の葉は、茎に対して輪生、対生、互生といった決まった位置関係（葉序）で配置しており（福原，2021）、葉の原基の配列に関する数理モデルも作成されている（Yonekura et. al., 2019）。これらのことから、サボテンの刺座も同様に、一定の規則性を持って配列しているのではないかと考え、10種類のサボテンで測定をおこなった。

図4～図13からわかるように、刺座は上方中央の原点から、左回りと右回りに螺旋を描くように配列し、共有刺座で出会いながら下方に伸びている。扁平な墨烏帽子（図7）は、もともとの螺旋が共有刺座の面に向かってつぶれた形に配列している。測定したすべての種のサボテンにおいて、刺座の座標や刺座間の高さは、種ごとに一定の規則性をもたない。

サボテン科系統樹

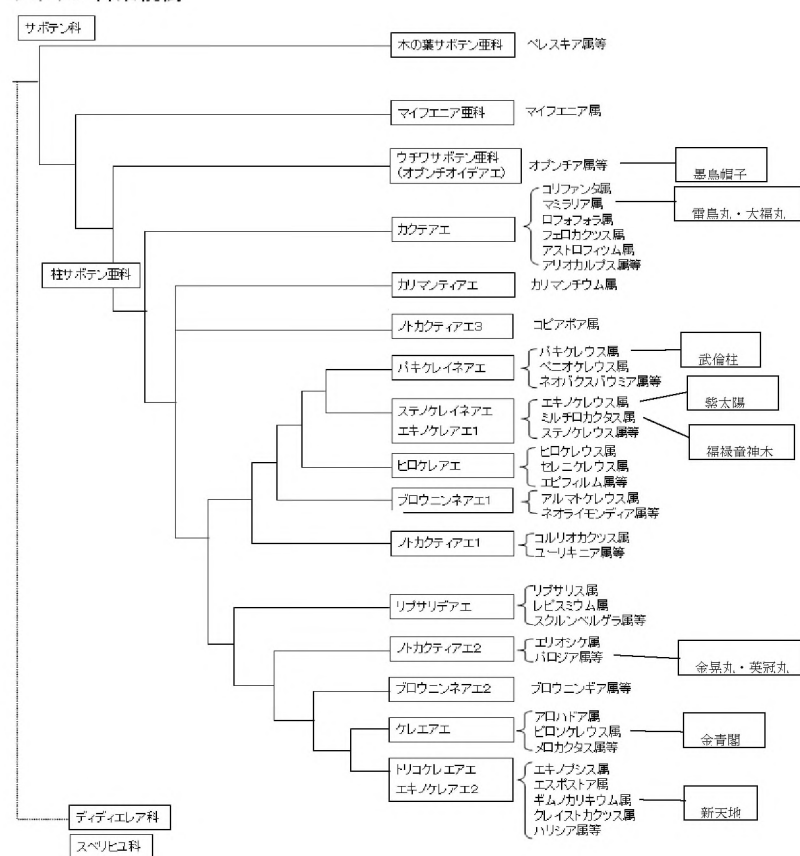


図14 系統樹（Montserrat Vazquez-Sanchezほか，2019を改変）

ただし、同一個体であれば、環境によって水分量や個体の大きさが変わっても、刺座の配列の位置関係は変わらない。武倫柱（[図4](#)）や金青閣（[図6](#)）で確認した結果から、同じ種であっても刺座の配列のようすは個体によって異なる。共有刺座間のなす中心角にも規則性は見られない（[表1](#)）。さらに、系統樹（[図14](#)）における種の位置づけによって、刺座の配列が類似するなどの規則性もみられない。

測定したサボテンでは、葉から変形した刺座は、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。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。サボテンは茎に対する刺座が他の植物よりも多く、茎部分が一部膨らんでいたり傾いていたりするなどの形状の個性によって、刺座の位置が受ける影響は他の植物よりも大きいと考えられる。今回の結果は、サボテンの形状の個性によってもたらされた結果である可能性が高いと考えられる。

5 今後の課題

現在、刺座の配列に規則性が認められないかどうかを、それぞれのサボテン種本来の形状をもつ個体で調査しているところである。規則性が認められれば、たとえば螺旋の方程式を求めて比較するなど、さらに異なる指標で調べていきたい。

6 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）
- 福原達人（2021）植物形態学—4-5. 葉の付き方・並び方（福岡教育大学教育大学, <https://staff.fukuoka-edu.ac.jp/fukuhara/index.html>）
- 東川和夫（1989）フィボナッチ数列と黄金比—ひまわりの種の配列—（東京法令, 話題源数学, 356-359）
- Montserrat Vazquez-Sanchez, Daniel Sanchez, Teresa Terrazas, Alejandro de la Rosa-Tilapa and Salvador Arias (2019) Polyphyly of the iconic cactus genus *Turbinicarpus* (Cactaceae) and its generic circumscription. (Botanical Journal of the Linnean Society, 190, 405-420)
- スパンタナーノン, P./飯島健太郎監修・大塚美里訳（2018）サボテン全書（グラフィック社）
- Yonekura, T., Iwamoto, A., Fujita, H. and Sugiyama, M. (2019) Mathematical model studies of the comprehensive generation of major and minor phyllotactic patterns in plants with a predominant focus on orixate phyllotaxis (PLOS Computational Biology, journal. Pcbi. 1007044, 1-13)

7 謝辞

本研究をおこなうにあたって、本校科学部顧問の川勝和哉主幹教諭と国立科学博物館筑波実験植物園には有益な助言をいただいた。ここに記して謝意を表する。

ヤマトシジミ (*Corbicula japonica*) の殻表面の模様の産地による種内変異

兵庫県立姫路東高等学校 科学部生物系研究部 (シジミ班)

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

要 旨

日本各地のヤマトシジミを9地点からそれぞれ50個体ずつ試料として採取し、殻表面の黄色の模様部分の殻全体の面積に対する割合を調べた。黄色の模様部分の面積の割合は地域ごとに特徴的な値を示す。殻長や殻面積、成長線の本数が異なっても、殻全体の面積に対する黄色の模様部分の割合は変わらずほぼ一定の値を示す。また、年平均水温、溶存酸素量、塩分濃度との相関関係も見られない。さらに、輪紋の本数を数えることは困難である。縄文海進の頃に水底であった地域に現在生息しているヤマトシジミは、黄色の模様部分の割合の幅は0~10%、最大でも0~20%以下であり、当時陸地であった地域に生息しているヤマトシジミの0~30%よりも変動幅が狭いという特徴がある。

キーワード：ヤマトシジミ (*Corbicula japonica*) 種内変異 殻長 成長線 輪紋 縄文海進

1 はじめに

東京都の国立科学博物館を訪問した際、アサリの殻の常設展示があった。その解説から、アサリにも殻表面の模様に地域差があり、それを種内変異ということを知った。筆者らが日常的に食べているシジミにも地域による種内変異はあるのか興味をもった。地域による種内変異については、張ほか(2012)のアサリについての先行研究があり、殻模様は地域によって異なるとされている。

ヤマトシジミ (*Corbicula japonica*) は日本固有種で、汽水域に生息する二枚貝である。

2 シジミ試料の採取地域と環境特性

日本の代表的なシジミには、ヤマトシジミ (*Corbicula japonica*)、マシジミ (*Corbicula leana*)、セタシジミ (*Corbicula sandai*) などの種がある。本研究では、その中で安定的に入手がしやすく、日本全国で採取されるヤマトシジミを研究対象に選んだ。全国各地のヤマトシジミを各50個体ずつ採取するとともに、試料としたヤマトシジミが生息する地域の環境についての文献調査をおこなった(表1)。シジミの生息には、水温、溶存酸素量、塩分濃度、底質粒度組成が重要であることが知られている(杉原ほか, 2015)が、文献調査では底質粒度組成を知ることはできなかった。ヤマトシジミは低塩分耐性が著しく強い(田中, 1984)。

表1 シジミ試料の産地と環境

産 地	試料 個体数	環境の特徴		
		年平均水温 (°C)	溶存酸素量 (mg/L)	塩分濃度 (%)
1) 北海道網走町 網走湖	50	13.0	9.2	0.5
2) 青森県五川原市 十三湖	50	18.3	9.0	No data
3) 茨城県 那珂川下流域	50	16.5	9.2	No data
4) 千葉県香取市 利根川下流域	50	No data	No data	No data
5) 島根県出雲市園町周辺 宍道湖	50	17.3	10.7	0.4
6) 愛知県西尾市 矢作川下流域	50	16.0	11.0	No data
7) 三重県桑名市 長良川下流域	50	22.0	8.0	1.5~2.6

8) 徳島県吉野郡吉野町飯貝 吉野川下流域	50	17.9~18.2	7.6~8.4	No data
9) 福岡県有明 筑後川下流域	50	26.0~30.0	5.1~6.2	23.5

1) 国土交通省北海道開発局網走開発建設部 (2021) 2) 青森県水産総合センター (2008)
 3) 小椋好美・坂本菜瑠弥 (2020) 4) 関東地方整備局 (1990)
 5) 国土交通省中国地方整備局出雲河川事務局 (2021)
 6) 年統計水質検索データベース矢作川 (2020) 7) 中部地方整備局 (2016)
 8) 年統計水質検索データベース吉野川 (2020) 9) 年統計水質検索データベース筑後川 (2020)

3 ヤマトシジミ試料の観察

全国から採取したヤマトシジミを観察し、殻長、殻の表面積、輪紋の本数、成長線の本数と、黄色の模様部分(図1)の面積が貝殻全体の面積に占める割合との関係を調べた。各地から入手したヤマトシジミそれぞれ50個体を煮沸して殻を外し、表裏双方の殻(それぞれ合計100枚)の測定をおこなった。測定値は紙面の都合で割愛し、資料として添付する。同一個体であっても、表裏の殻で、黄色の模様部分の割合は異なる。



図1 矢作川下流域のヤマトシジミの黄色の模様(矢印)

(1) 産地による黄色の模様部分の面積の割合

ヤマトシジミの殻表面全体の面積に対する黄色の模様部分の面積の割合を求めた(図2)。産地によって、黄色の模様部分の面積の割合は特徴的な値を示すが、環境との相関関係は見られない。

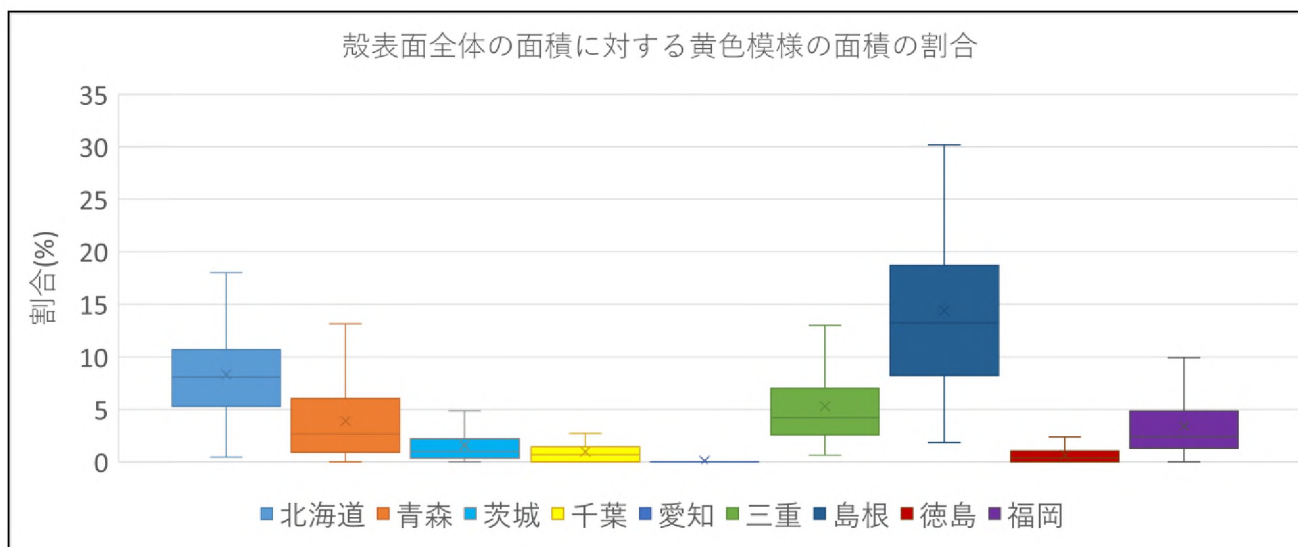


図2 地域ごとの殻表面全体の面積に対する黄色の模様部分の面積の割合

(2) 殻長と殻全体の面積に対する黄色の模様部分の面積の割合

島根県のホームページには、ヤマトシジミは成長するにつれて殻の最も幅の広い部分の長さ(殻長/池上, 2009)が大きくなること示されている(図3/島根県 HP, 2021)。殻長と殻全体の面積に対する黄色の模様部分の面積の割合の関係を図4に示す。殻長が大きくても、殻全体の面積に対する黄色の模様部分の面積の割合はほとんど変化しない。

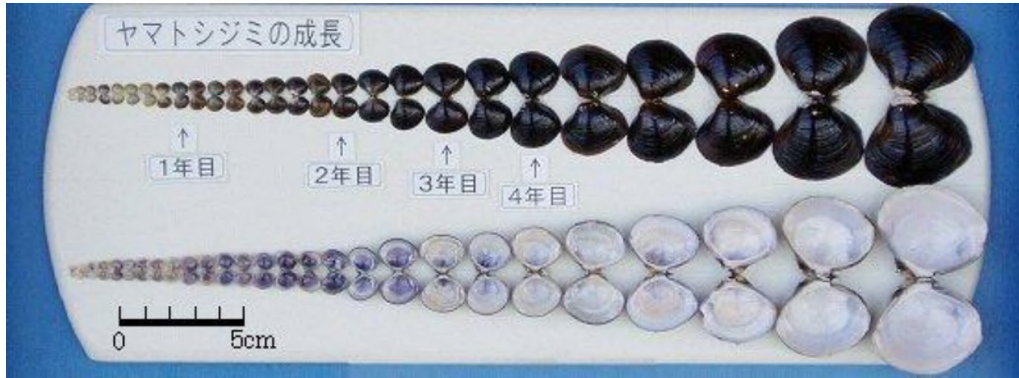
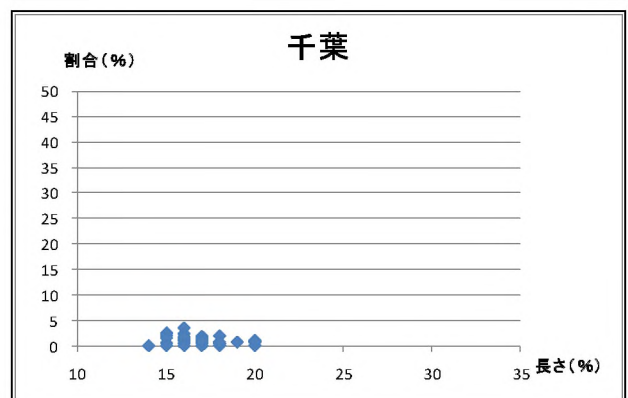
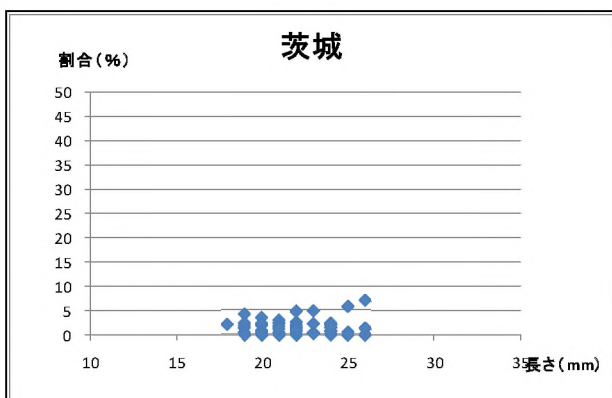
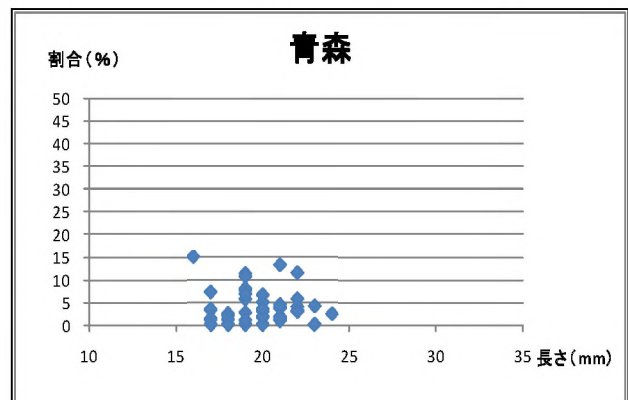
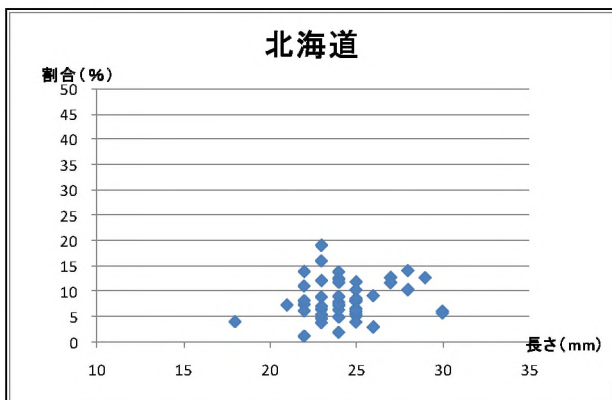
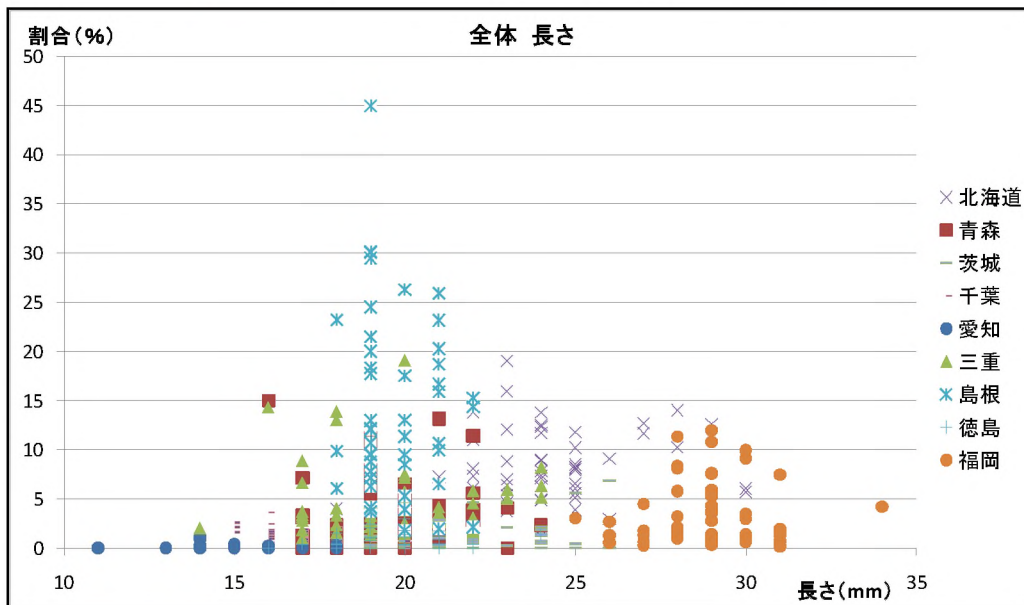


図3 ヤマトシジミの成長と殻長（島根県 HP, 2021）



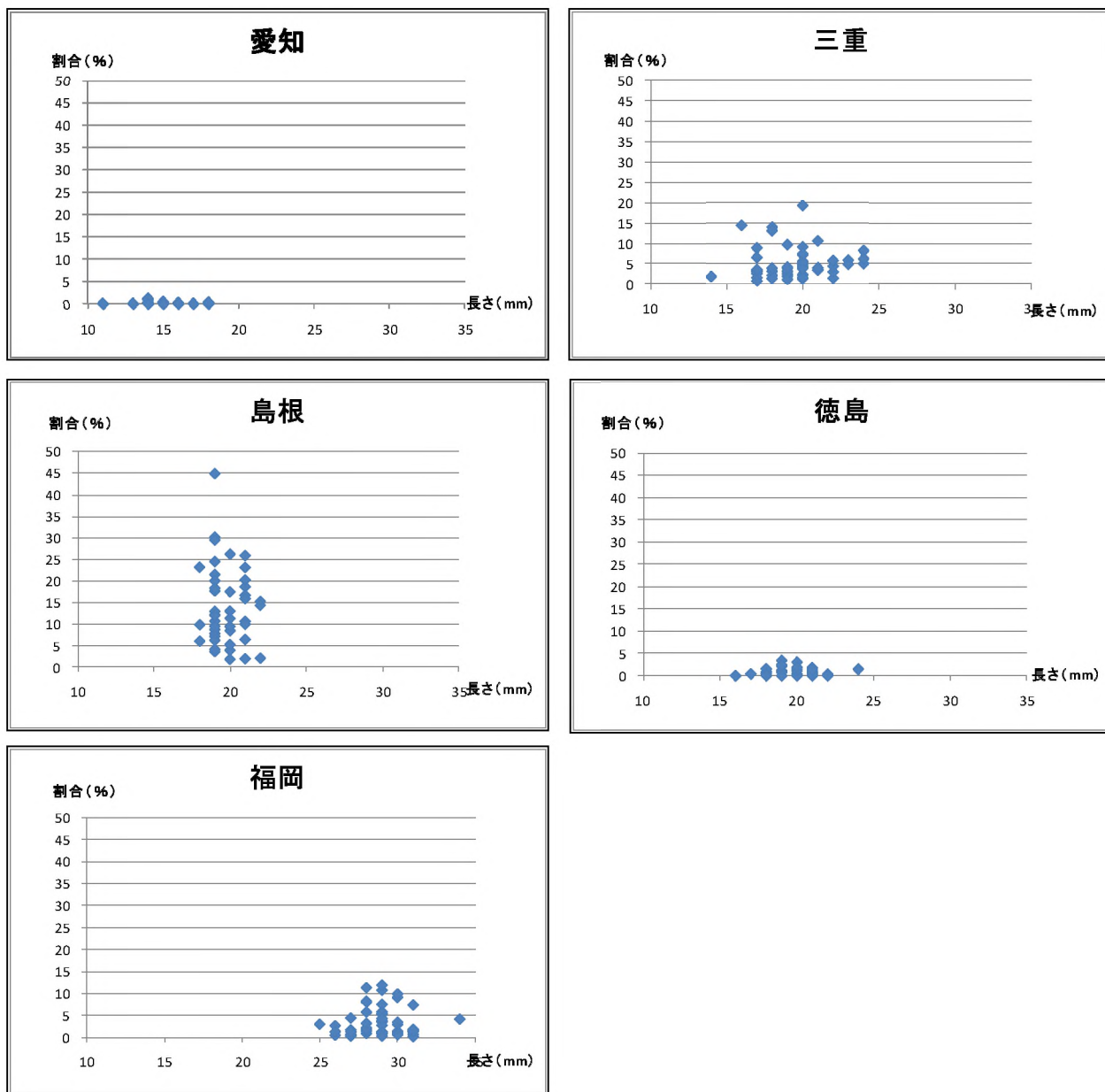
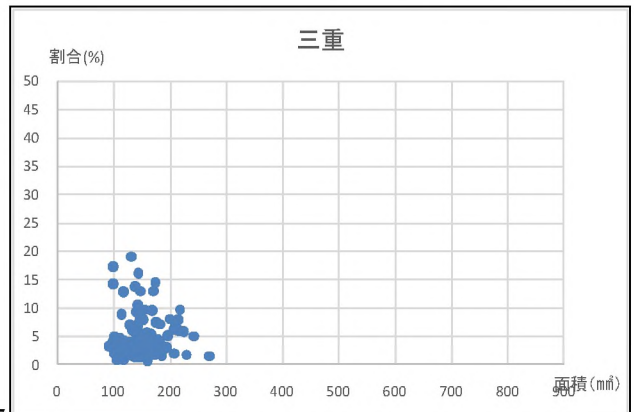
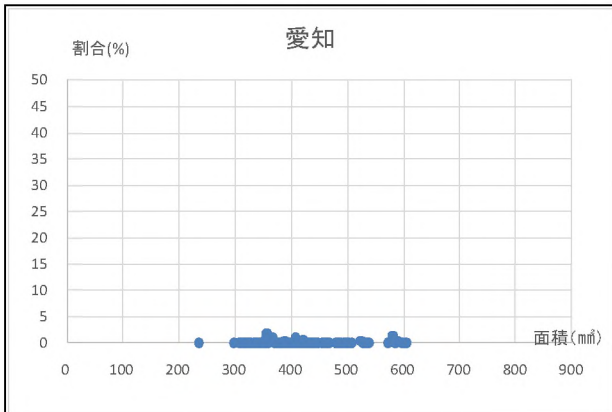
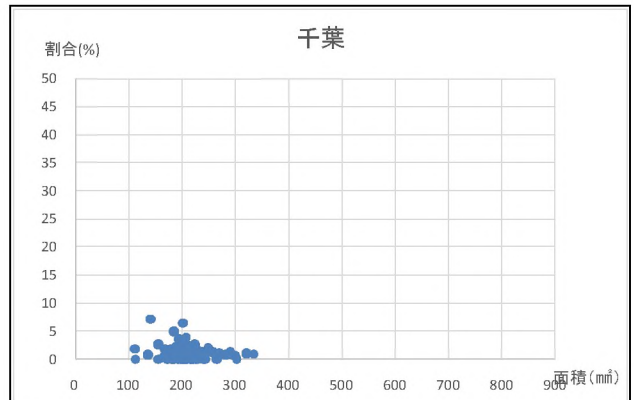
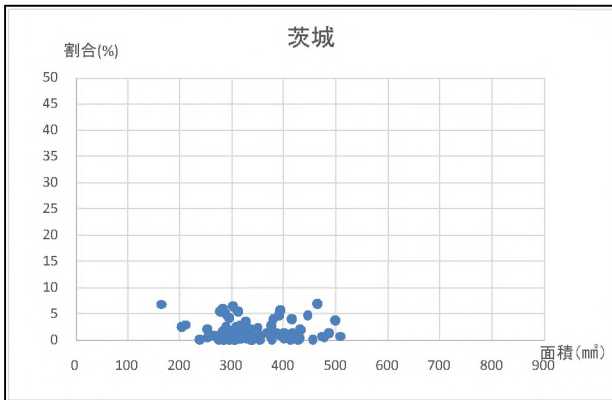
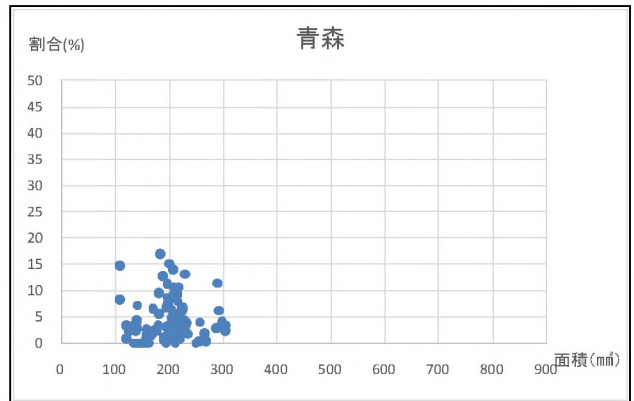
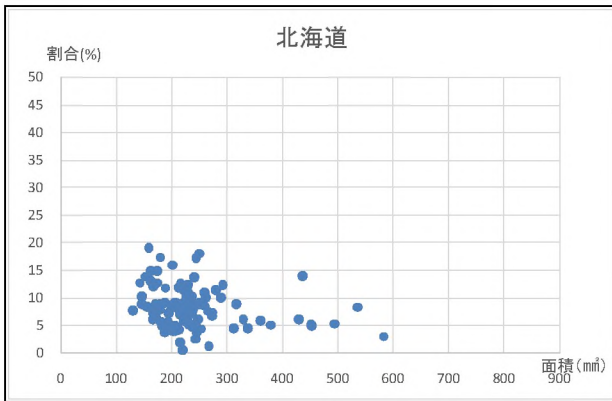
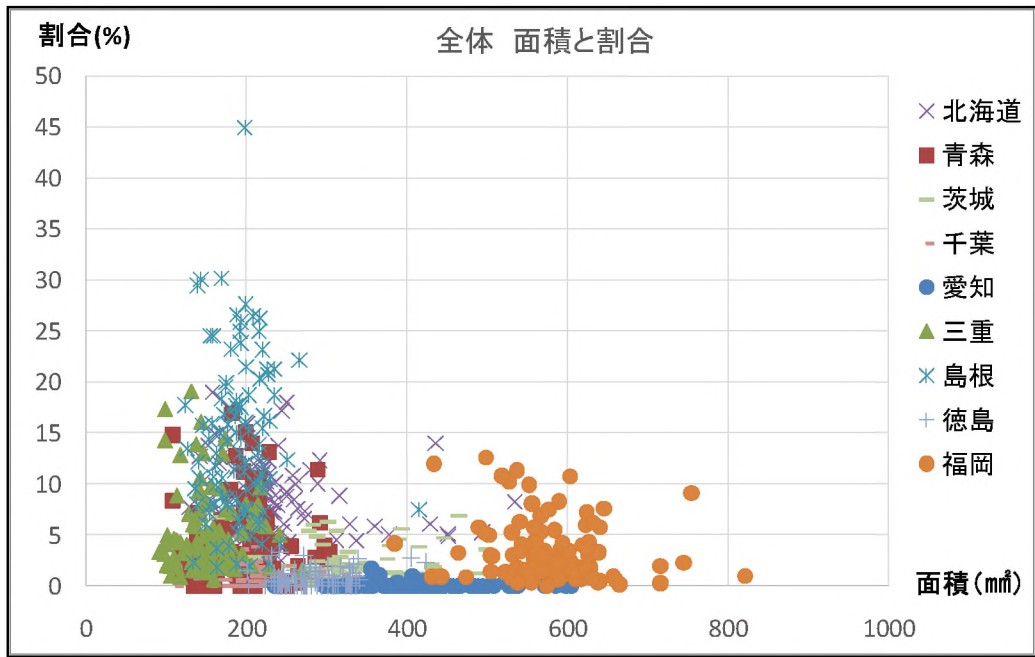


図4 殻長と黄色の模様部分の面積の割合

(3) 殻全体の面積に対する黄色の模様部分の面積の割合

殻長が大きくても、殻の面積が大きいとは限らない。殻全体の面積に対する黄色の模様部分の面積の割合を図5に示す。地域によって特徴が異なるが、殻の面積が大きくても黄色の模様部分の面積の割合は変わらない。



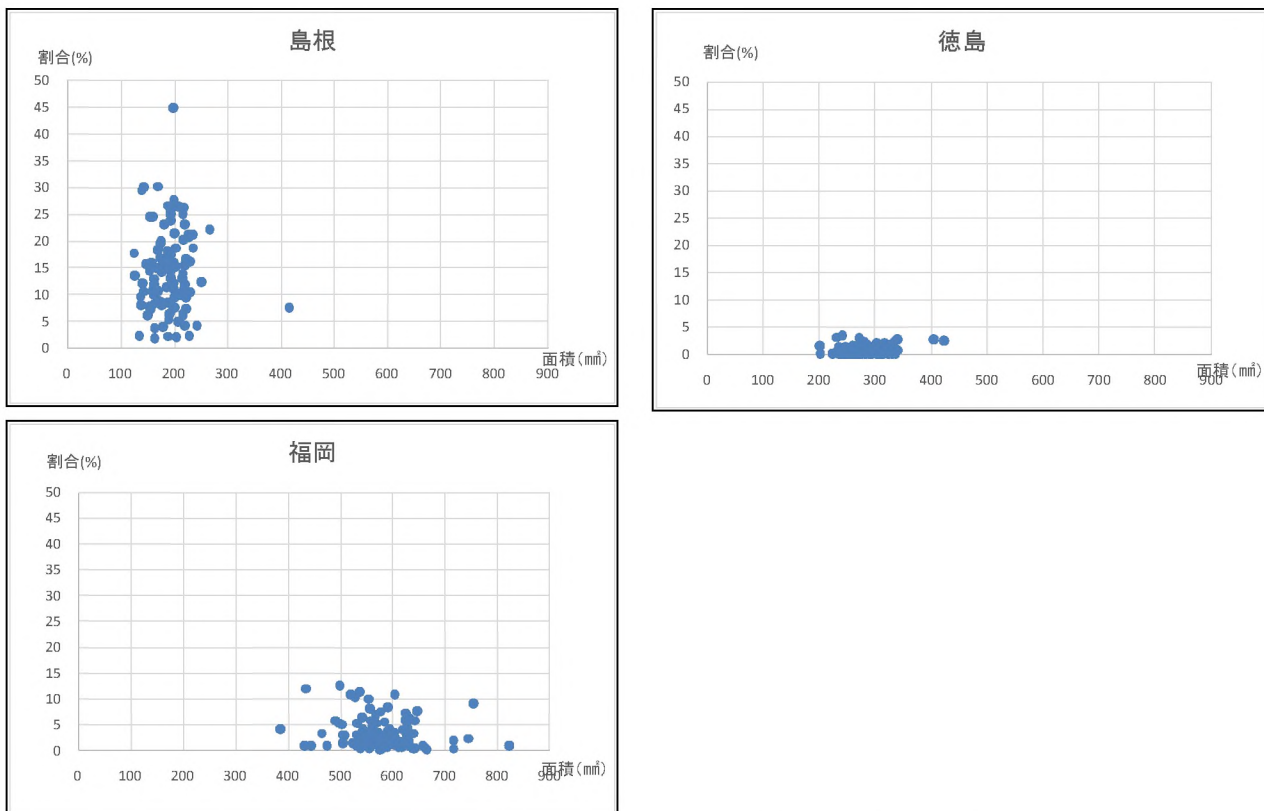


図5 殻全体の面積に対する黄色の模様部分の面積の割合

(4) 輪紋の本数と殻全体の面積に対する黄色の模様部分の面積の割合

輪紋 (図6) とは、1年に1本の割合で形成されるリングであり、年齢を示すことが、ヤマトシジミ (高田ほか, 2001) やチョウセンハマグリ (半澤ほか, 2017)、ホッキガイ (茨城県水産試験場, 2017) などで調べられている。筆者らがヤマトシジミの輪紋を確認しようとしたが、肉眼ではよくわからなかった。そこで、1%塩酸を用いて脱灰して、輪紋の本数を数えようとしたが、やはり判断は困難であり、殻全体の面積に対する黄色の模様部分の面積の割合と輪紋の関係の有無を判断することはできなかった (図7)。

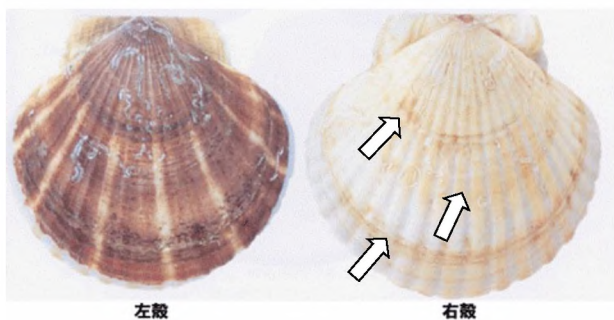


図6 輪紋 (網走市役所,2021)

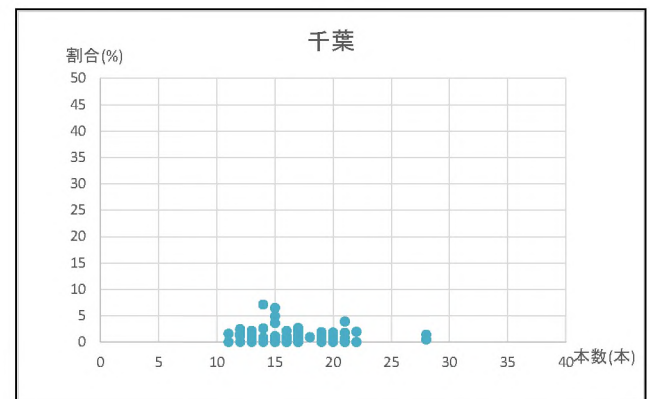
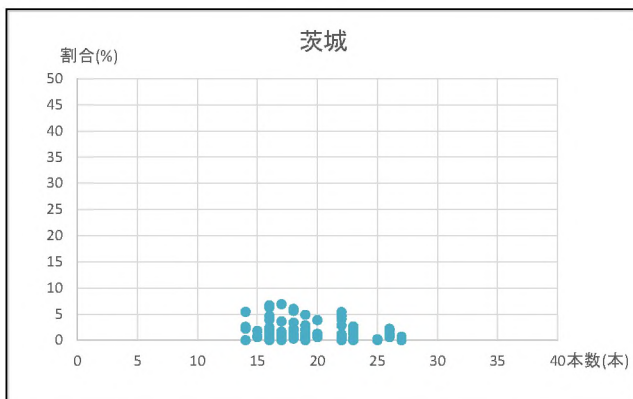
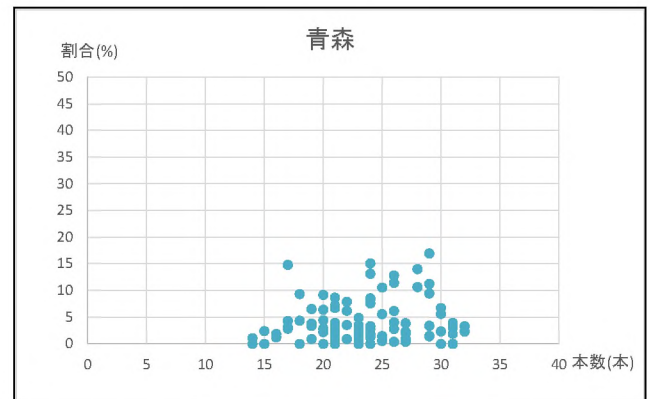
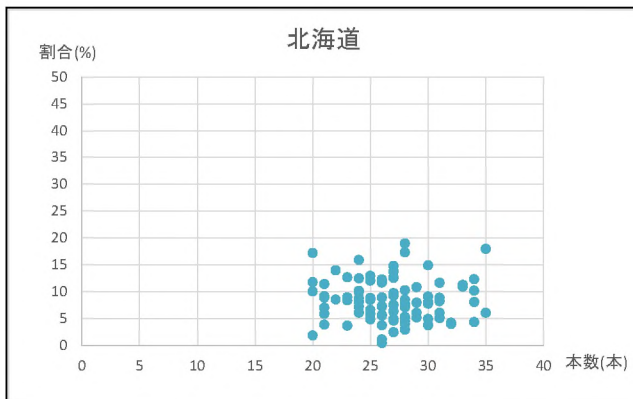
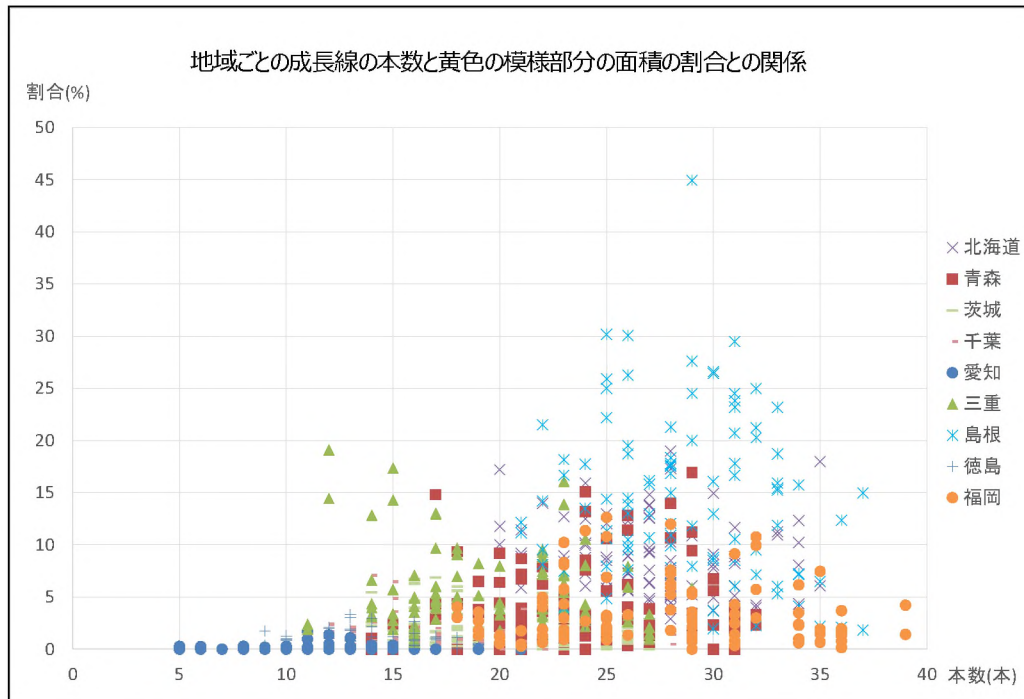


図7 ヤマトシジミの輪紋

(5) 成長線の本数と黄色の模様部分の面積の割合

ヤマトシジミの成長線は、ほぼ周期的な粗密分布を繰り返しながら形成されているが、個体差が大きく、規則性は確認できなかった。成長線の本数と殻長の間にも有為な関係は認められなかった。これは、高安ほか (1996) でも指摘されている。成長線の本数が変わっても、殻全体の面積に対する黄色の模様部分の面積

の割合はほぼ一定で変化しない (図8)。



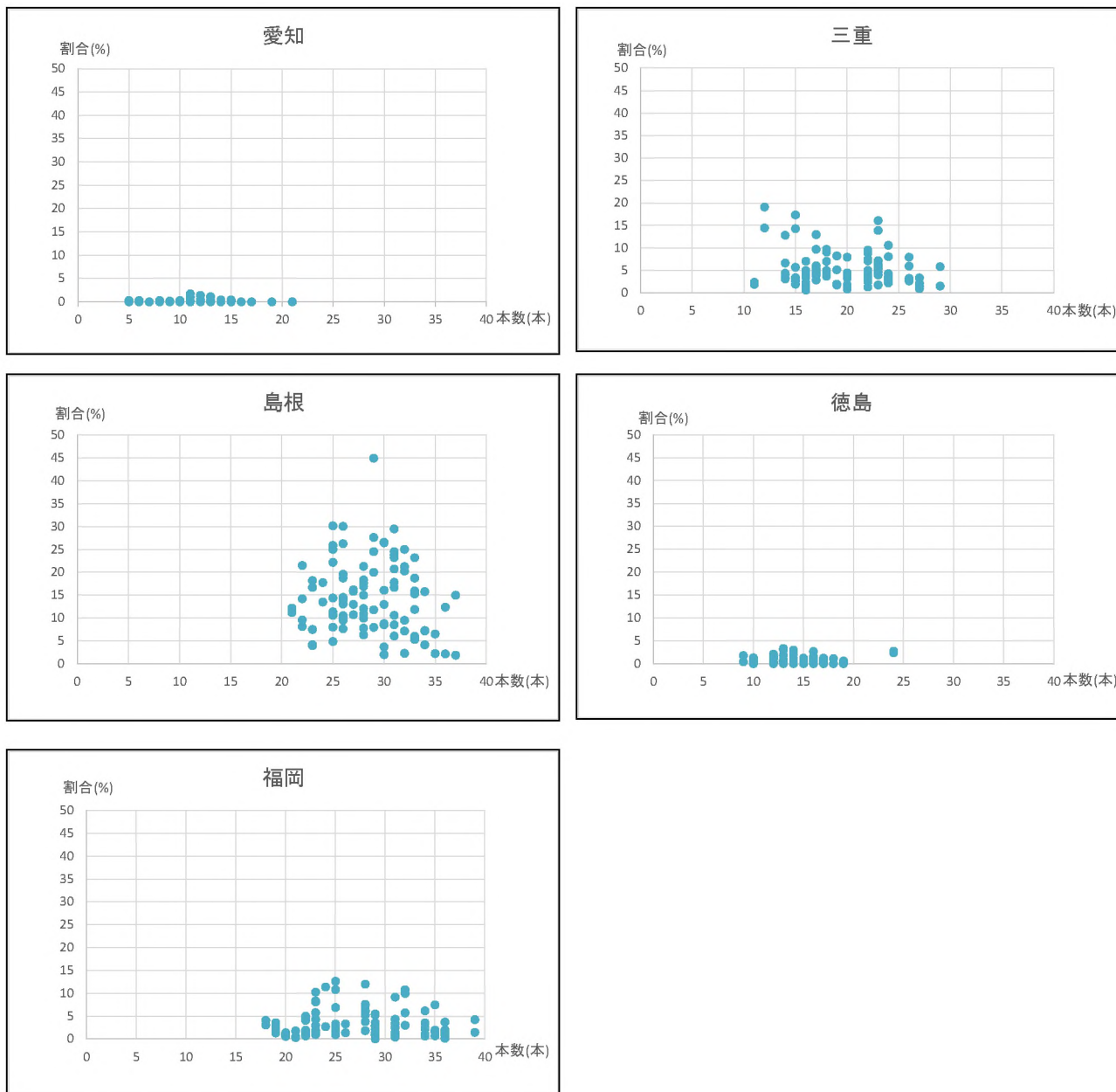
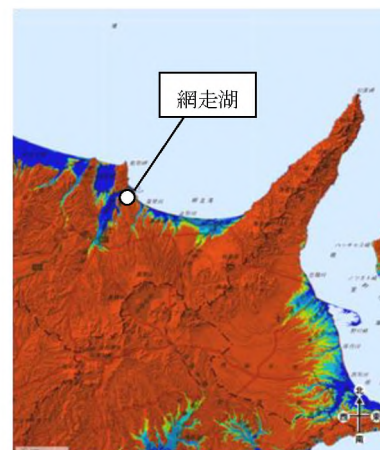


図8 成長線の本数と殻全体の面積に対する黄色の模様部分の面積の割合

4 考察

貝殻全体の面積に対する黄色の模様部分の面積の割合は、産地によって特徴的で異なっている。一方で、殻長や殻面積、成長線の本数が異なっても、殻全体の面積に対する黄色の模様部分の割合は変わらずほぼ一定の値を示す。また、輪紋の本数を数えることは困難で、貝殻全体の面積に対する黄色の模様部分の面積の割合との相関関係を明らかにできなかった。さらに、ヤマトシジミが生息する地域の年平均気温(℃)、溶存酸素量(mg/L)、塩分濃度(%)との間にも相関関係は見られない。

ヤマトシジミは縄文海進に伴って生息地を全国に広がっていったことが知られている。もちろん、現在の分布は、その後の人為的な移動の影響がある可能性を否定できないが、縄文海進の時代に水底であった地域



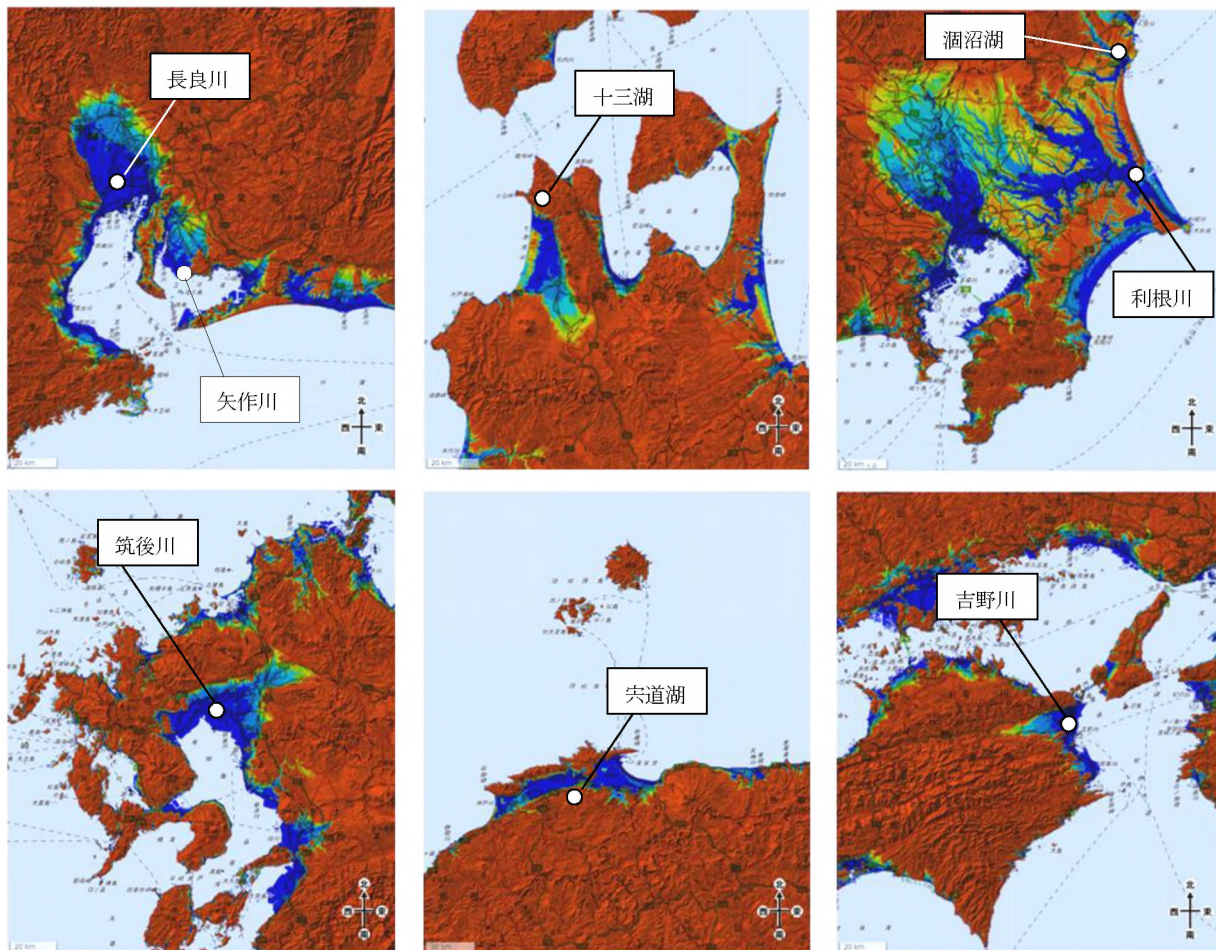


図9 縄文海進の時代の日本列島の地図と試料採取地点（国土地理院（1988）に加筆）

（太田ほか，1988）に現在生息するヤマトシジミは、黄色の模様部分の割合が 0～10%程度、最大 0～20% であり、当時陸地であった地域に生息している 0～30%よりも変動幅が狭い傾向にある（図9・図10）。

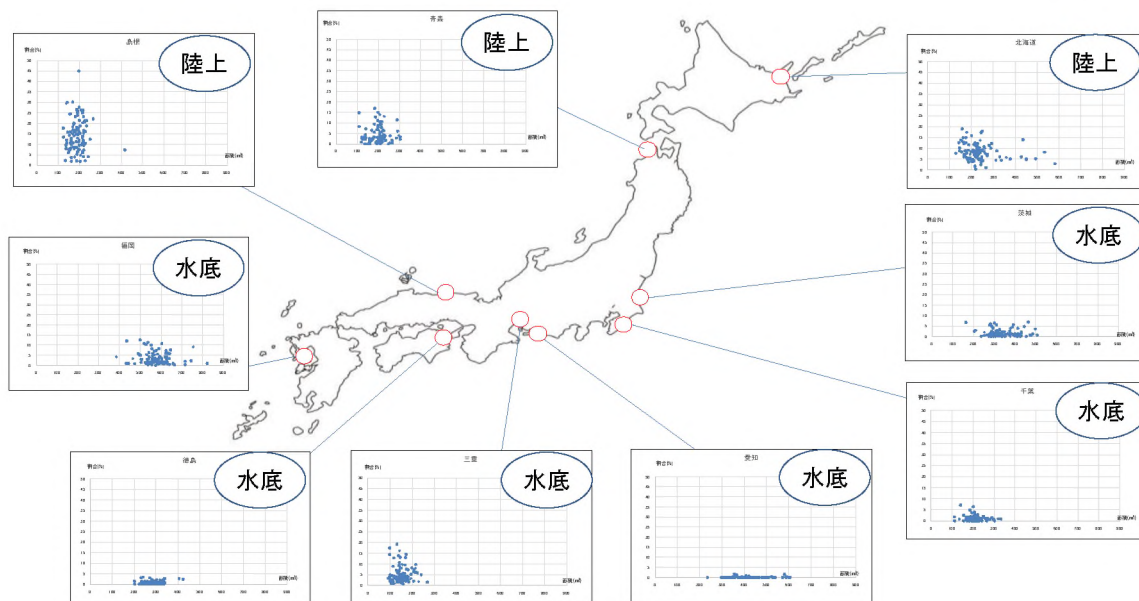


図10 地域による殻の面積に対する黄色の模様部分の面積の割合から見たヤマトシジミの種内変異（楕円内は縄文海進の時代に陸上であったか水底であったかを示す）

5 今後の課題

中西 (2019) は、5000 年ごろ、温暖化によって引き起こされた縄文海進による海面上昇によって、日本各地に大きな内湾が形成され、内湾の拡大に伴って生息域が日本各地に広がったとしている。ヤマトシジミの生息域が拡大していったことと黄色の模様部分の面積の関連を明らかにするためには、それぞれの地域のヤマトシジミの DNA を測定するなどして、より詳細に比較することが必要である。

6 引用文献

網走市役所 (2021) 網走のおさかな図鑑－ホタテ－

青森県水産総合センター (2008) 内水面研究所事業報告集 No.1 (pp130-131)

張成年・山本敏博・渡辺一俊・藤浪祐一郎・兼松正衛・長谷川夏樹・岡村寛・水田浩治・宮脇大・秦安史・

櫻井泉・生嶋登・北田修一・谷本尚史・羽生和弘・小林豊・鳥羽光晴 (2012) アサリの非対称殻模様出現頻度における地域差 (日本水産学会誌, 79 (2), pp190-197)

中部地方整備局 (2016) 平成 28 年中部地方一級河川の水質 (p11)

半澤浩美・杉原奈央子・山崎幸夫・白井厚太郎 (2017) 茨城県鹿島灘産チョウセンハマグリ of 年齢形質と年齢推定法 (日本水産学会誌, pp1-7)

茨城県水産試験場 (2017) ホッキガイの年齢を調べています (水産の窓, No.2, p29)

池上直樹 (2009) 熊本県緑川水系で採取された淡水産シジミ：台湾シジミとマシジミの貝殻形態 (熊本地学会誌, 151, pp2-8)

関東地方整備局 (1990) 利根川河口堰水質調査結果 (18km)

国土地理院 (1988) 縄文海進地図 (HP)

国土交通省中国地方整備局出雲河川事務局 (2021) 中海・宍道湖の水質状況, 水質調査位置図分析結果表

国土交通省北海道開発局網走開発建設部 HP (2021) 網走湖水質速報値

中西正巳 (2019) シジミ貝雑話 (海洋化学研究, 第 32 巻, 第 1 号, pp70-76)

年統計水質検索データベース筑後川 (2020)

年統計水質検索データベース矢作川 (2020)

年統計水質検索データベース吉野川 (2020)

小椋好美・坂本菜瑠弥 (2020) 潤沼流域における水質調査結果－茨城東高校「潤沼と自然」の授業を通して, 表-2 令和 2 年度潤沼水質調査一覧表島根県ホームページ 2021 島根の豊かな川と湖

太田陽子・松島義章・梅津正倫 (1988) 日本列島の縄文海進高頂期の海岸線図について－添付地図解説 (地図, 第 26 巻, 第 1 号)

島根県 (2021) 島根県 HP

杉原幸樹・渡邊和好・平井康幸 (2015) 天塩川におけるヤマトシジミ生息環境に対する塩分遡上の影響 (土木学会論文集 (水工学), 第 71 巻, 第 4 号, pp1117-1122)

高安克己・小林巖雄・森田浩史・中村幹雄 (1996) 宍道湖産ヤマトシジミ殻体の微細成長縞の観察 (LAGUNA, 3, pp103-110)

高田芳博・園田武・中村幹雄・中尾繁 (2001) 宍道湖のヤマトシジミ個体群の成長および着底稚貝 (日本水産学会, 第 67 巻, 第 4 号, pp678-686)

田中彌太郎 (1984) ヤマトシジミの塩分耐性について (養殖研究報告, 第 6 号, pp29-32)

7 謝辞

本研究をおこなうにあたって、本校科学部主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。また、国立科学博物館には、さまざまな資料を提供していただいた。ここに記して謝意を表す。

Regional Variations in the Shell Patterns of *Corbicula Japonica*

Himeji Higashi Prefectural Senior High School, Hyogo Science Club Biological Research Team

Mitsui Ayaka Naito Mayu Yamamoto Natsuki Kodama Naoko Muromoto Yuya
Goto Daichi Sato Tomoki Takata Kengo Takeuchi Tomoya Nishino Yuri Yoko Yuma

Keywords *Corbicula japonica* intraspecific mutation shell ridge Holocene Glacial Retreat

Motive *C. japonica* (Japanese clam or shijimi) is a brackish water clam endemic to Japan. Previous research has shown regional variations (intraspecific mutation) in this species.

Summary

- The percentage of yellow-patterned shell is a regional characteristic. (Fig. 3)
- The proportion does not change with physical dimensions, shell area or number of growth rings. (Figs. 4,5,6)
- It is difficult to count shell ridges, so no relationship to yellow patterning has established.
- No correlation was found between the extent of yellow patterns and salinity, average water temperature or dissolved oxygen (DO). (Table 1)
- The rise in sea levels in the Jomon era (5000 B.C.) lead to the formation of large inland bays across Japan, expanding the habitat of *C. japonica* (Nikisha, 2019). Modern populations may be mixed due to human activity, but clams from populations of areas that were submerged prior to the late Holocene Glacial Retreat show a narrower range of percentages of yellow patterning than younger populations from areas which became submerged later. (0-20% vs. 0-30%)

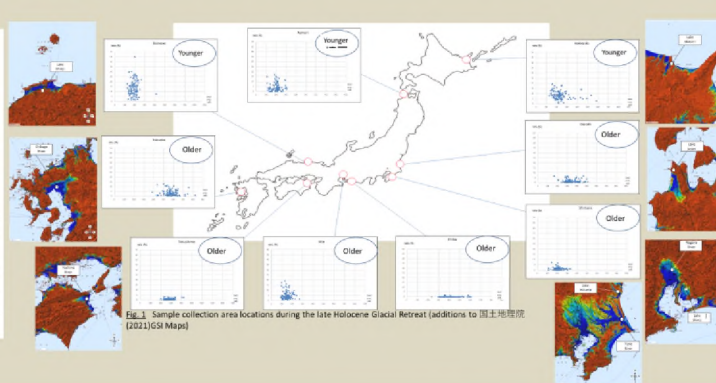


Fig. 3 Sample collection area locations during the late Holocene Glacial Retreat (additions to 国土地理院 (2021) GSI Maps)

Method

50 clams were collected from each of 9 areas around Japan, boiled and the shells were then inspected. The recorded characteristics were; shell length, shell area, number of growth lines, number of ridges and percentage of yellow pattern. Environmental data for each collection area was also recorded. (Table 1)




Fig. 2 The yellow pattern of *C. japonica* from the lower reaches of the Yahagi River

Producing area	Number of subjects	Annual average water temperature (°C)	Dissolved oxygen (mg/L)	Salinity concentration (%)
1) Lake Aburahi, Aburahi Town, Hokkaido Prefecture	50	13.0	9.2	0.5
2) Lake Jusanbo lake, Goshogawara City, Aomori Prefecture	50	18.3	9.0	No data
3) Lower Naka River, Ibaraki Prefecture	50	18.5	9.2	No data
4) Lower Tone River, Katori City, Chiba Prefecture	50	No data	No data	No data
5) Lake Shiga Senooya, Inzai City, Aichi Prefecture	50	17.9	10.7	0.4
6) Lower Yahagi River, Nishio City, Aichi Prefecture	50	18.0	11.0	No data
7) Downstream Nagara River, Kuwana City, Mie Prefecture	50	22.0	8.0	1.6-2.6
8) Lower Yoshino River, Yoshino Town, Tokushima Prefecture	50	17.7-18.2	7.6-8.4	No data
9) Downstream Chikugo River, Ayabe, Fukuoka Prefecture	50	28.0-30.0	5.1-8.2	23.5

Result

(1) **Percentage of yellow pattern by habitat area**
The proportion of the shell which was yellow showed a characteristic value depending on the area in which they grew, but there was no correlation with environmental conditions.

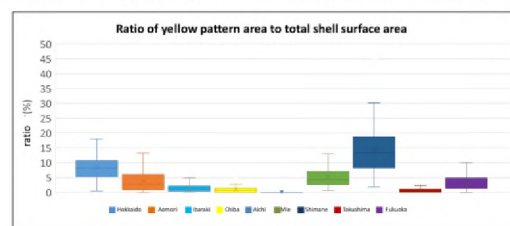


Fig. 3 Ratio of yellow pattern area to total shell surface area by region

(2) **Correlation between the percentage of yellow patterning and length of shell.**
Figure 4 shows shell length and percentage of yellow pattern. No correlation can be established.

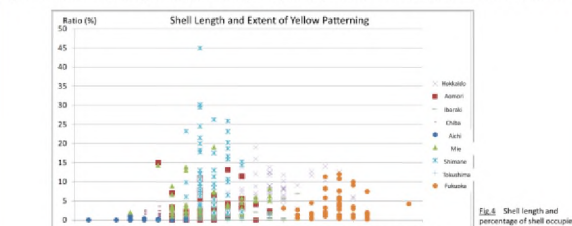


Fig. 4 Shell length and percentage of shell occupied by yellow patterning

(3) **Ratio of the area of the yellow patterning to the total shell area**
Even if the shell is long, the area of the shell is not necessarily large. Figure 5 shows the ratio of yellow patterning to total area. No general correlation is seen, but each region has a characteristic range of values.

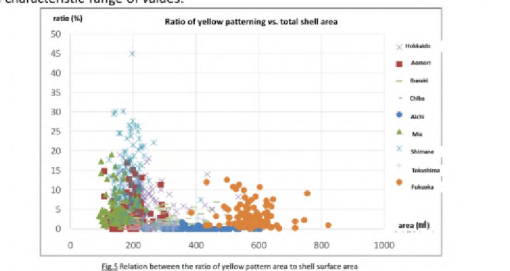


Fig. 5 Relation between the ratio of yellow pattern area to shell surface area

(4) **The number of growth lines and the yellow patterning area ratio**

- The growth lines of *C. japonica* are almost periodic, but regularity couldn't be confirmed due to significant individual variances.
- There is no relationship between growth lines and shell length. (Takayasu et al., 1996)
- There is no correlation between yellow pattern ratio and number of growth lines.

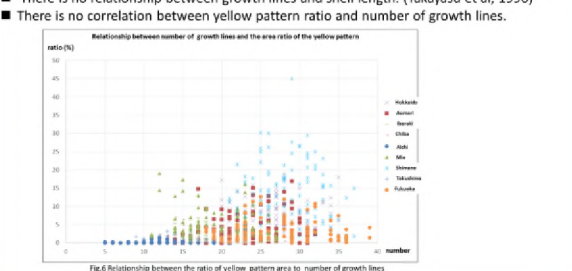


Fig. 6 Relationship between the ratio of yellow pattern area to number of growth lines

Future tasks To confirm the timeline of the expansion of the range of *C. japonica* in the Japanese archipelago, it is necessary to examine the DNA of *C. japonica* populations in each region.

Acknowledgments Mr. Kazuya Kawakatsu, the chief advisor of the Science Club, has provided invaluable direction and insight.

References

Abashiri City hall(2021) Fish picture book in Abashiri-Scallops- Fisheries Research Agency in Mie(2008) In land water Research Institute Business Report (No.1, 130-131)
Hani Seimon, Yamamoto Toshihiro, Watanabe Issyun, Huzinami Yuchiro, Kanematsu Masae, Hasegawa Natsuki, Okamura kan, Midu Yoshinobu, Miyawaki Dai, Muneyasu Hitoshi, Sakurai Izumi, Iezima Noboru, Kitada Syuichi, Tanimoto Hitoshi Haryuu Wahiro, Kobayashi Yutaka, Hanu Kousei. (2012) Differences in frequency of appearance of asymmetric tide marks in clams due to regional differences(Bulletin of the Japanese society of scientific Fisheries,79,190-197)
Chubu Regional Development Bureau (2016) water quality Chubu Regional class river
Ikagami Naoki (2009) Shell morphology of freshwater clams of *C. fluminea* and *C. leana* collected in the Midorikawa River system, Kumamoto Prefecture
Kanto regional Development Bureau(1990) Tonegawa estuary weir
Geographical survey Institute(1988) Map of Jomon coastline Transgression (hp)
Izunno River Office, Chugoku Regional Development Bureau, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism(2021)
Water Quality Status of Nakaumi and Lake Shinji, Water Quality Survey Location Analysis Results Table.
Masami Nakanishi. (2019) cHitch of freshwater clam(Marine Chemistry Research, Vol.32, No.1, 76-76)
Annual statistical Water Quality search database Chikugo River (2020) Yahagi River (2020) Yoshino River (2020)
Ogura Yoshimi, Sakamoto Naruya, Results of water quality survey in the week swamp basin -Ibaraki Higashi High School(Hinuma and nature), lessons chart-2 list of Surveys of the Dro swamp Waters in2020
Website of Abasiri development and Construction Development, Hokkaido Development Bureau, Ministry of land, Infrastructure, Transport and Tourism(2021)
Ota Yoko, Matsumura Yoshiki, Umetani Matsuo(1988) Middle Holocene Shoreline Map of Japan-Attached map commentary(map, Vol26, No.1)
Shimane Prefecture (2021) Shimane Prefecture Historical Water Quality
Sugawara Koki, Watanabe Kazuyoshi, Hirai Yasuyuki (2015) Influence of salt Water Intrusion For *Corbicula Japonica* Habitat In The Teshio River (JSCE Proceedings (Hydraulic engineering),Vol.71, No.4,1117-1122)
Takayasu katsuni, Kobayashi Iwao, Morita Hiroshi, Nakamura Miho(1996), Observations of micro-growth striations in the brackish-water clam, *Corbicula japonica* from lake Shinji(LAGUNA,3,103-110)
Tanaka Yataro (1984) about salt resistance of pale blue grass (aquaculture research report, no.6, 29-32)
All were accessed in Japanese.

石英安山岩の角閃石から熱水残液の循環を記録する波状累帯構造を発見

兵庫県立姫路東高等学校 科学部地学系研究部（マグマ班）

中農拓人 多田明良 本脇敬人 山本悠介 岩本濤治

要 旨

深成岩の鉱物には、マグマから鉱物が結晶化した後、熱水残液が循環して鉱物にさまざまな記録を残すことが知られている。筆者らは、火山岩の試料から作成した 30 枚の薄片の角閃石から、初めて波状累帯構造を発見した。兵庫県南西部の石英安山岩の斑晶を構成する角閃石には、微弱な波状累帯構造がみられる。火山岩として急速に固結した安山岩の角閃石で今回発見した波状累帯構造は、マグマが固結するごく短時間にも熱水残液が循環し、イオン置換がおこなわれたことを初めて明確に示すものである。深成岩に比べて発達程度が低いのは、深成岩がゆっくり固結する過程においてマグマが酸化条件下で発泡し、熱水残液が激しく循環するのに対して、火山岩ではマグマの発泡と熱水残液の循環が短時間で起こり、その規模も小さいことを示している。深成岩のような激しい熱水残液の循環はみられないものの、酸性～中性マグマから固結した石英安山岩は、塩基性マグマから固結した玄武岩よりも H_2O が多く含まれると考えられており、マグマ固結直後でも熱水残液の循環が起こりやすかった。

キーワード：熱水残液 イオン置換 波状累帯構造

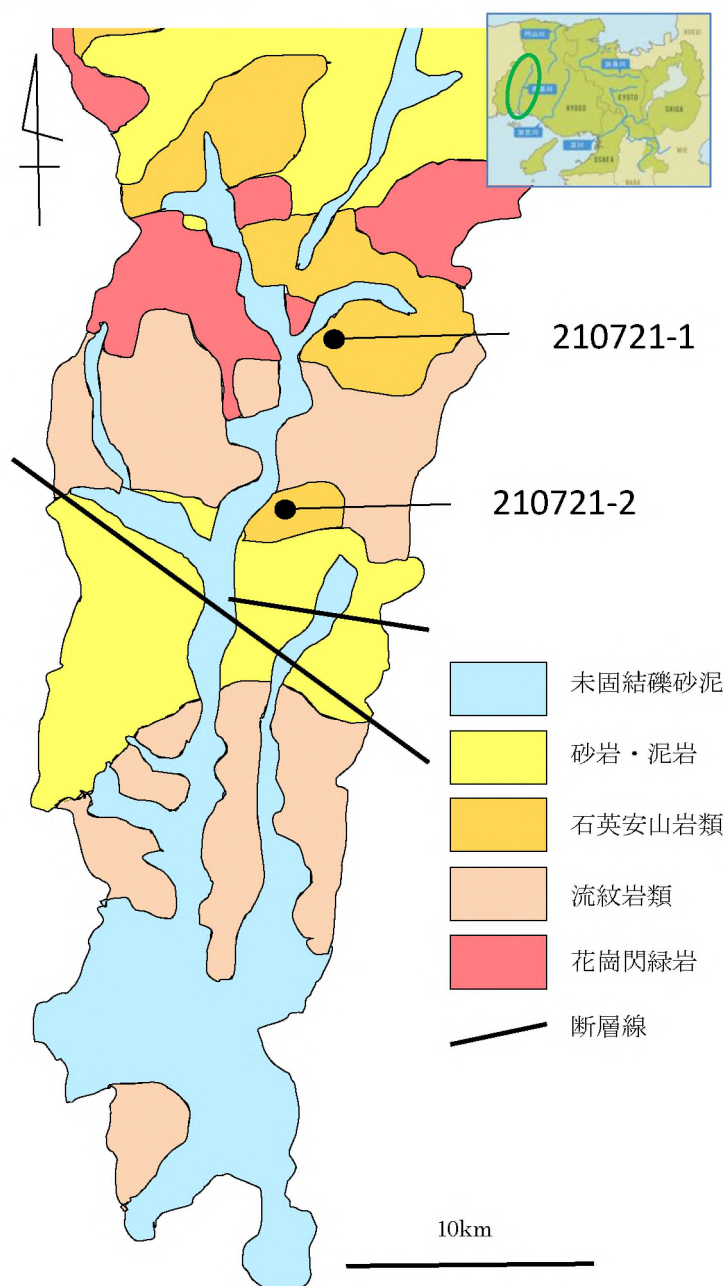
1. はじめに

マグマの結晶分化作用は中学校理科や高等学校地学の教科書に記されているが、詳細はまだ明らかにされていない。マグマから鉱物が結晶化する場合、各鉱物はそれぞれの融点で晶出するわけではないし、晶出の順序が融点の高い鉱物から低い鉱物へと一律に向かうわけでもない（都城・久城, 1977・小出, 2017）。はじめは均質であったマグマが途中で相互に不混和なマグマに分かれたり、固結の過程で周囲の物質を取り込む混染を起こしたりすることも珍しくない。さらに、本源マグマも多様性をもっているし、マグマに含まれる H_2O が発泡すると、既に結晶化した鉱物の成分を選択的に溶かしながら上昇する。最初に結晶化する際の物理条件のほかに、一度結晶化した鉱物が二次的な反応を見せるなど、マグマは非常に複雑な系であり、これを解明することは、たとえば火山噴火の予知などにも活かされると考えられている。現在確認することができる造岩鉱物には、鉱物が結晶化した際の周囲の温度や圧力などの環境条件や、結晶化した後に二次的に鉱物が経験した熱水残液の動向が記録されている。特に、有色鉱物の輝石や角閃石のイオン置換のパターンがよく知られていることから、輝石や角閃石に記録された微細構造に着目した研究が多くみられる。

科学部顧問の川勝和哉先生は、山陰帯（Ishihara, 1977・石原, 1982）の深成岩である石英閃緑岩の角閃石から初めて、結晶の成長方向に幅数 μm の微細な帯状構造が発達する波状累帯構造を発見した（Kawakatsu and Yamaguchi, 1987）。波状累帯構造は、鉱物が結晶化した後、周囲からの熱水残液の循環による熱の影響を受けて再平衡する際に、規則的にイオン置換が起こることによって形成される。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から、さらに兵庫県立姫路東高等学校科学部（2019・2021）が山陽帯姫路市の揖保川石英閃緑岩の角閃石から、同様の波状累帯構造を発見しており、熱水残液の影響が普遍的なものであることがわかってきた。変成作用を受けると、鉱物全体が異なる変成鉱物に置換されてしまうが、火成岩ではそこまで置換されず、そのため波状累帯構造の発達の程度は熱水残液の循環のようすを示す指標となる。

一方で、まだ火山岩の角閃石からは波状累帯構造が発見されていなかった。斑晶をなす角閃石にイオン置換によって熱水残液の影響を記録した波状累帯構造が見られないのは、①火山岩は地表付近できわめて速い速度でマグマが冷却固結するため、熱水残液の循環は起こらないため、②熱水残液の循環は起こっているが、波状累帯構造を形成する時間的余裕がほとんどないため、のいずれの理由によるものか明らかではなかった。火山岩から波状累帯構造を発見することができれば、マグマ分化作用における熱水残液の動向を明らかにすることができるかと期待されてきたため、筆者らは安山岩と玄武岩の角閃石に注目し、波状累帯構造の発見を目指した。その結果、兵庫県南西部の石英安山岩の角閃石から波状累帯構造を発見した。兵庫県北部の玄武岩の角閃石からは発見することができなかった。ここでは、兵庫県南部の安山岩の角閃石から発見した波状累帯構造について報告する。

2. 岩石試料の記載



筆者らは昨年度、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い、地質図を作成した。本年度、改めて露頭調査をおこない、昨年度の地質図を修正した(図1)。石英安山岩と周囲の岩石との関係を確認した後、石英安山岩の試料を2地点(210721-1、210721-2)から採取した。コロナ禍下の調査であったため、採取することができた試料は、この2地点から合計6個であった。本地域には、島状に点々と花崗閃緑岩がみられ、それを覆うように石英安山岩～流紋岩類が広く分布している。石英安山岩には弱い流理構造が見られるが、肉眼で観察できるような熱水脈はない。ほとんど風化変質しておらず、長さ2mm～3mm程度、最大5mmの石英や斜長石の斑晶が見られる。有色鉱物の斑晶は肉眼では確認することができない。

なお、兵庫県北部を南北に流れる円山川沿いに広く分布する玄武岩試料についても、薄片を5枚作成し、同様の観察をおこなったが、角閃石の波状累帯構造を発見することはできなかった。

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を修正、加筆した)

3. 角閃石の微細構造

石英安山岩の1試料からそれぞれ5枚の薄片を作成し(合計30枚)、それらを隅々まで詳細に観察した。石英安山岩の斑晶のモード組成は、斜長石19.7%、角閃石4.3%、不透明酸化鉱物5.1%である。角閃石の斑晶は長さ0.1mm以下程度と小さい。

偏光顕微鏡で観察した結果、角閃石に微弱な波状累帯構造があることを発見した(図2)。波状累帯構造は、幅約1 μ m程度で、結晶のc軸方向に垂直に帯状に形成されている。角閃石は淡褐色のコアと淡緑色のリムからなる場合が多いが、波状累帯構造は、褐色のコアには見られず、二次的に再平衡して形成されたとされる淡緑色リムのみから発見される。隣接する鉱物は斜長石やカリ長石であり、角閃石の波状累帯構造の有無と隣接する鉱物の種類とは関係しない。

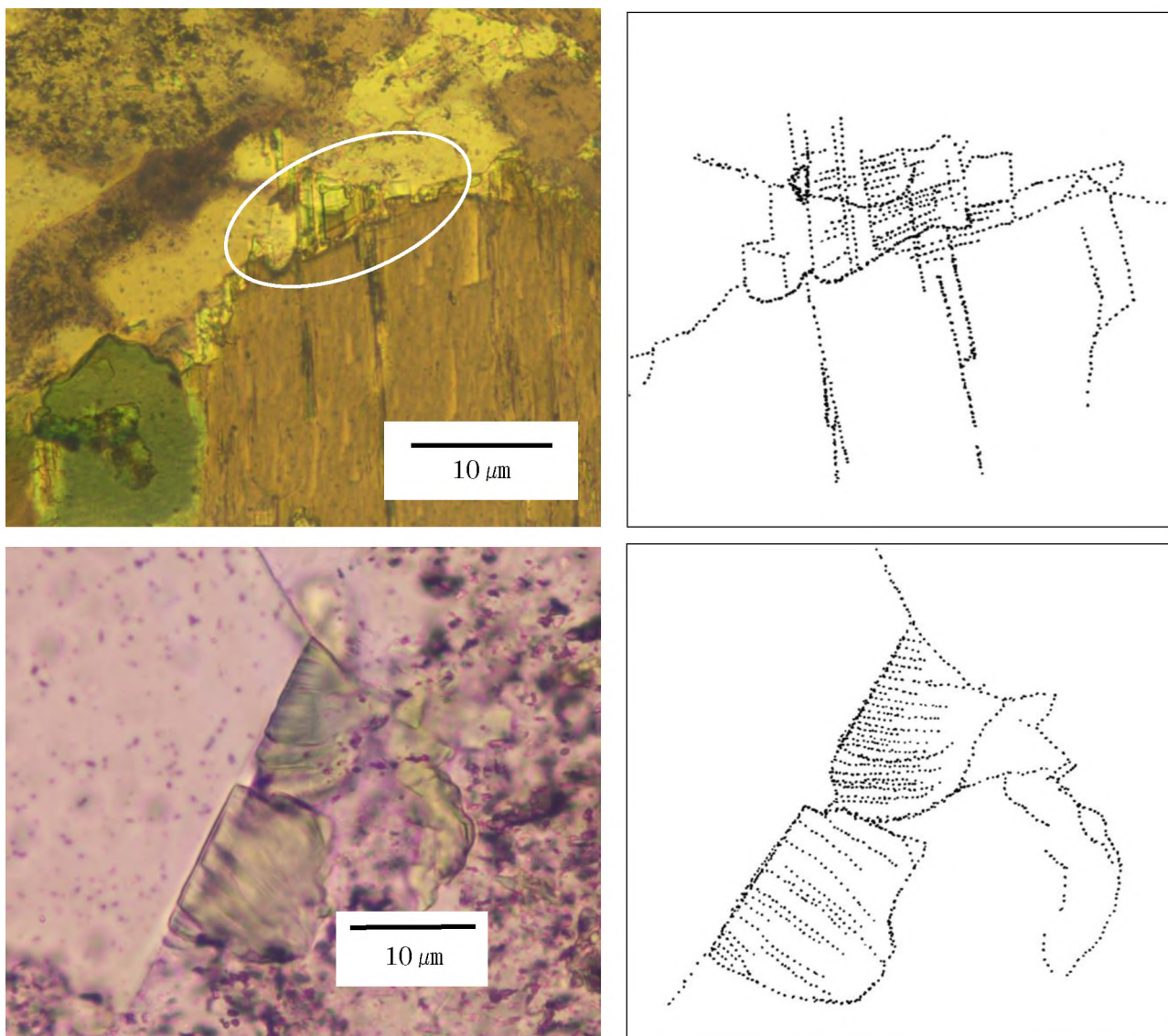


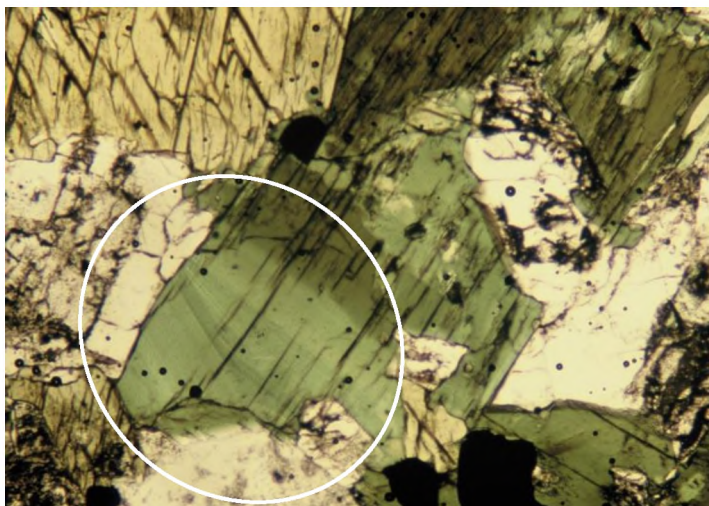
図2 石英安山岩の角閃石から発見された波状累帯構造(オープンニコル×40倍)とスケッチ

4. 考察

マグマが固結する際、主要な造岩鉱物が結晶化した後、熱水残液が循環してさまざまな記録を鉱物に残す。

熱水残液の循環は幾度となくさまざまな程度でおこなわれるため、鉱物はさまざまに姿を変える。現在われわれが見ている鉱物の姿は、さまざまな環境の影響を受けた結果の状態である。各地の深成岩の角閃石には普遍的に、熱水残液の循環によるイオン置換によって角閃石の結晶化後に形成された波状累帯構造が残されている。波状累帯構造が発達している山陰帯の島根県大東-横田花崗閃緑岩（[図3](#)）は浅所貫入型で、マグマ分化の早期から残液が発泡し、熱水残液が酸化的環境の中で激しく複数回循環したと推定されている（Kawakatsu and Yamaguchi, 1987）。一方深所貫入型の山陽帯の花崗岩類は発泡による酸化の影響が小さく、熱水残液の活動が微弱であったため、角閃石の波状累帯構造の発達の程度は低いと考えられている（兵庫県立加古川東高等学校地学部, 2008・2013・兵庫県立姫路東高等学校, 2019・2021）。

筆者らは、山陽帯兵庫県南西部の火山岩である石英安山岩の斑晶を構成する角閃石から、初めて波状累帯構造を発見した。深成岩類に比べて、発達の程度は極めて微弱である。一方で、玄武岩からは発見できなかった。熱水残液の循環は、マグマに含まれるH₂Oの発泡によって起こるとされている（Kennedy, 1955）。深成岩のような激しい熱水残液の循環はみられないものの、酸性マグマから固結した石英安山岩は、塩基性マグマから固結した玄武岩よりもH₂Oが多く含まれると考えられており、マグマ固結直後でも熱水残液の循環が起こりやすかったのではないかと推定されている。



[図3](#) 大東-横田花崗閃緑岩の角閃石の波状累帯構造（兵庫県立加古川東高等学校地学部, 2012/写真の横幅は2mm）

5. 今後の課題

本研究は、露頭を調査して得た岩石試料から作成した薄片の詳細な観察を通じて、発見した数 μ mの微細構造によって、壮大なマグマ分化の過程の一部を理解することができる面白さを体感するものであった。コロナ禍の状況下で困難ではあるが、今後は、安山岩の角閃石から発見した波状累帯構造をEPMA分析し、どのようなイオン置換が行われたのかを明らかにしたい。これによって、マグマの固結過程で深成岩と火成岩でどのような熱水残液が循環したのかを比較推定することができる。また、波状累帯構造を示す角閃石と共存する鉱物を詳細に観察することによって、波状累帯構造を形成した熱水残液の温度や圧力を知ることができる。マグマがどのように分化していくのかを明らかにすることによって、火山の噴火過程におけるマグマ分化について知ることができるかもしれない。

6. 引用文献

- 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（2019山口大会）ポスター）
- 兵庫県立姫路東高等学校科学部（2021）石英や長石の砂粒の凹凸や体積比から源岩からの距離を推定する指標の提案（日刊工業新聞社「未来の科学者との対話19」第19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.19, 176-188）

- 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 (2012) 花崗岩類に与えたマグマ熱水残液の影響の解析研究報告 (兵庫咲いテクプログラム報告書)
- 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)
- 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 (1987) Successive Zoning of Amphiboles during Progressive Oxidation in the Daito-Yokota Granitic Complex, San-in Belt, Southwest Japan. (Geochim. Cosmochim. Acta. 51, 535-540)
- 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)
- 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)

7. 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、さまざまな場面で助言をいただいた。ここに記して謝意を示す。

The Discovery of Oscillatory Zoning Showing the Circulation of Hydrothermal Fluid in Amphiboles of Dacite

Himeji Higashi Prefectural Senior High School, Hyogo Science Club Earth Science Research Team
 Nakano Hiroto Tada Akira

keyword ■ Hydrothermal solution: high temperature solution, usually aqueous, out of which minerals crystallize.

■ Oscillatory zoning: repeated microscale variation in mineral composition caused by cyclical changes in the chemical environment during crystal growth, leading to ion exchange with hydrothermal fluid (Fig.1)

[Features of Magma]

- Crystallization does not uniformly proceed from minerals with higher freezing points to those of lower freezing point.
- Homogenous magma may evolve into immiscible magmas and absorb surrounding substances during crystallization.
- Primary magma undergoes convection, selectively melting the components of minerals that have already crystallized.

[Discovery of Oscillatory Zoning]

- Oscillatory zonings have been found in an amphibole of quartz diorite, a plutonic rock⁽⁷⁾⁹⁾
- Zonings were discovered in amphiboles of granodiorite in Nunobiki, Kobe and the Kakogawa-Takasago area.^(4)・6)
- Oscillatory zonings were discovered in an amphibole of quartz diorite in Ibo, Himeji, Sanyo Belt.^(2)・3)

➡ It has been found that the effect of hydrothermal fluid is universal.

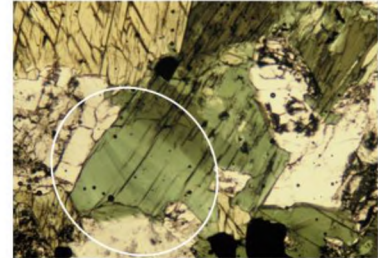


Fig.1 Oscillatory zoning of amphibole of Daito-Yokota granodiorite (open nicol/The width of the photo is 2 mm.)⁵⁾

Purpose

- Magma crystallization differentiation is a topic not covered in depth in many standard textbooks.
- Oscillatory zonings are often found in amphiboles of plutonic rock but not in those of volcanic rock.
- It was **not clear** which of these reasons is **why oscillatory zonings have not been discovered amphiboles found in volcanic rock**:
 ① Hydrothermal solution doesn't circulate as ejected magma cools quickly.
 ② Circulation occurs but there is too little time for zoning to appear.
- If we can discover oscillatory zonings in volcanic rock, **then hydrothermal solution trends in magmatic differentiation can be found**. The degree of development of oscillatory zoning is an indicator of hydrothermal solution circulation. This means that in addition to its significance as basic research, our findings can also be used to **predict volcanic eruptions**.

Description of Rock Samples

- An outcrop survey of the Ibo River basin was conducted and a revised geological map was compiled.(Fig.2)
- Six dacite samples were taken from two locations. (Fig.2)
- The majority of rock in this area has a composition between dacite and rhyolite with granodiorite "islands". The dacite shows weak flow structure, but no hydrothermal veins when observed with the naked eye. Phenocrysts of quartz and plagioclase about 2mm~3mm and up to 5mm long can be found. Phenocrysts of colored minerals cannot be seen with the naked eye.
- Five thin sections of **basalt** samples from sites widely distributed along the Maruyama River, were also prepared, but **no oscillatory zonings** from their amphiboles could be found.

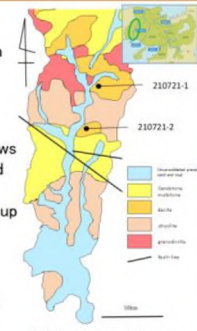


Fig.2 Geological map of the survey area and sample collection points

Discovery of Oscillatory Zoning in Amphiboles

- The modal composition of dacite phenocrysts is 19.7% plagioclases, 4.3% amphiboles, and 5.1% opaque oxides. Phenocrysts in dacite are small, less than 0.1 mm in length.
- **Weak oscillatory zonings** were discovered in the amphiboles, about **1 μm** in width and forming bands perpendicular to the c-axis of the crystal. (Fig.3)
- Amphiboles often consist of a light brown core and a light green rim. Oscillatory zoning is not found in the core and only found in the rim, having been **formed by secondary re-equilibration**.
- The adjacent minerals are plagioclase and potassium feldspar and they do not affect the presence or absence of oscillatory zoning in amphiboles.

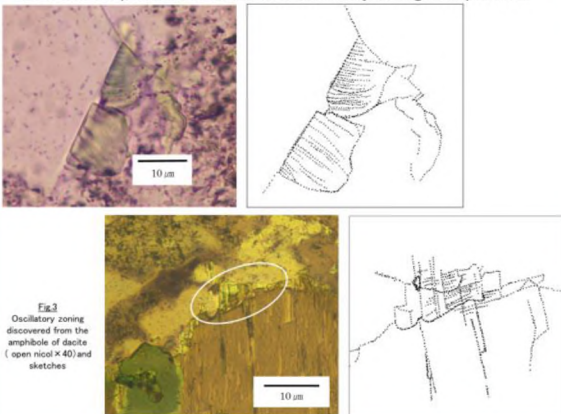


Fig.3 Oscillatory zoning discovered from the amphibole of dacite (open nicol X40) and sketches

Discussion

- We have made the **first discovery of oscillatory zoning in amphiboles from phenocrysts of dacite** from the southwest of Hyogo Prefecture in the Sanyo Belt, and so found that hydrothermal solution can circulate during volcanic rock formation. This study provides an **opportunity to clarify the compositional trends of residual magma and the influence of H₂O**.
- Compared to the oscillatory zoning that develops in amphiboles in plutonic rocks, **the degree of development is extremely weak**.
- Zoning was not found in an amphibole of the Genbudo-basalt of northern Hyogo Prefecture.
- The granitoids of plutonic rock in the Sanyo Belt have a low degree of oscillatory zoning in their amphiboles, attributed to low hydrothermal activity causing low oxidation.^(2)・3)・4)・6)
- **Hydrothermal solution circulation is driven by the outgassing of water in magma.**⁽¹⁰⁾
- Dacite solidified from acidic magma is thought to contain more water than basalt solidified from basic magma, suggesting that hydrothermal solution circulation may occur more easily in acidic magmas, even immediately after magma solidification.
- After magma cools and the rock-forming minerals crystallize, hydrothermal solution continues to circulate, altering minerals and leaving records of this activity on the minerals. The minerals we see today are the result of the effects of various environmental factors.

Future issues

We intend to use Electronic Probe Micro Analysis (EPMA) of the oscillatory zoning found in amphiboles of andesite to clarify what ionic substitutions occur. This will allow us hypothesize what kind of hydrothermal solutions circulate in plutonic or volcanic rock during the magma solidification process.
 The temperature and pressure of the hydrothermal solution that formed the oscillatory zoning can be determined by detailed observation of minerals coexisting within the amphibole. We may be able to learn about magma differentiation in the process of volcanic eruption.

Acknowledgements

We would like to thank Kazuya Kawakatsu, the advisor of the science club of our school, for his advice and guidance.

References

1. Aoki, J., Tomita, K. and Yamaguchi, Y. (1984) High Resolution Electron Microscopic Observation of Pyroxene Lamellae in Oxyhornblende. (Earth Sci. J. Assoc. Geol. Collab. Japan, Vol.38, No.5, 334-342)
2. Himeji Higashi Prefectural Senior High School, Hyogo Science Club. (2019) The Discovery of Oscillatory Zoning in Amphiboles of granodiorite in Himeji city-Kakogawa city, Southern Hyogo. (Poster for the 128th Academic conference of the Geological Society of Japan)
3. Himeji Higashi Prefectural Senior High School, Hyogo Science Club. (2021) Proposal of an index for estimating the distance from the source rock from the unevanescent or volume ratio of sand grains of quartz and feldspar/NKKAN KOGYO SHIMBUN/TD/Dialog with Scientists of the Future 19/The 19th Kanagawa University National High School Science Essay Award-winning works, Vol.19, 176-188)
4. Kakogawa Higashi Prefectural Senior High School, Hyogo Earth Science Club. (2008) Systematic description of magmatic differentiation of the Sanyo Belt titaniferous series and San-in Belt magnetite series — The discovery of Oscillatory Zoning from amphibole and zircon in the granite of Kakogawa City, Sanyo Belt — NKKAN KOGYO SHIMBUN/TD/Dialog with Scientists of the Future 12/The 6th Kanagawa University National High School Science Essay Award-winning works, Vol.6, 79-101)
5. Kakogawa Higashi Prefectural Senior High School, Hyogo Earth Science Club. (2012) Analytical study on the effect of magmatic hydrothermal fluid on granite. (Report on the Hyogo Sakuragi program)
6. Kakogawa Higashi Prefectural Senior High School, Hyogo Earth Science Club. (2013) Sulfur contamination in the differentiation process of low pH magmas: Iron-rich veins in granite in the Sanyo Belt and magnetite-series granite in the San-in belt. (NKKAN KOGYO SHIMBUN/TD/Dialog with Scientists of the Future X)/The 11th Kanagawa University National High School Science Essay Award-winning works, Vol.11, 146-173)
7. Ishihara, S. (1977) The Magnetite-Series and Iron-titanite-Series Granitoids. Rocks (Mem. Geol. Tokyo, 27, 293-305)
8. Ishihara, S. (1982) Granite series and mineralization/Mine Geology, 32, 281-293)
9. Kawakatsu, K. and Yamaguchi, Y. (1987) Successive Zoning of Amphiboles during Progressive Oxidation in the Daito-Yokota Granite Complex, San-in Belt, Southwest Japan. (Geochim. Cosmochim. Acta, 51, 525-540)
10. Kennedy, G.C. (1955) Some aspects of the role of water in rock melts. (Geol.Soc.Amer. Sp.Paper 62, 489-504)
11. Kanda Yoshiko. (2017) Formation of chemical diversity in igneous rocks during magmatic solidification. (Proceedings of the Humanities Society, Sapporo Gakuin University, 162nd, 1-29)
12. Miyashiro, A., Kusuhira, I. (1977) Petrology of a Cascade of rock formation (HYOETSU SHUPPAN CO., LTD.)
13. Yamaguchi, Y., Aoki, J. and Tomita, K. (1978) Clinopyroxene Lamellae in Dissolve of Garnet Lherzolite from Aka Anorth. (Bull. Geol. Surv. Japan, 66, 263-270)
14. Yamaguchi, Y., Shikama, H. and Tomita, K. (1982) Evolution of Cumingtonite, Actinolite and Soda Amphibole in Hornblende in High-pressure Metamorphism (Nature, Vol.314, No.5923, 257-258)

兵庫県立姫路東高等学校 令和3年度 科学部の活動の記録

兵庫県立姫路東高等学校 科学部

〒670-0012 兵庫県姫路市本町 68 番地の 70

電話 079-285-1166 (代) FAX 079-285-1167

2022 年 3 月 30 日