

理科、数学  
ご担当の先生向け

# 「理数」の進め方ガイドブック

## 実践事例編



千葉県総合教育センター

令和3年3月

# 目 次



千葉県PRマスコットキャラクター  
チーバくん

1	探究の学習の必要性 ～なぜ今、探究なのか～	1
2	授業の進め方	1
3	本冊子の活用	2
4	研究協力校の取組の概要	
	・ 県立木更津高等学校	4
	・ 県立佐倉高等学校	6
	・ 県立柏高等学校	8
	・ 県立鎌ヶ谷西高等学校	10
5	指導実践の事例	
	事例① 唾液中の細菌とCOD	12
	事例② 錯視を数値化し要因を探る	14
	事例③ 集音レンズを用いた新たな通信機器の開発	16
	事例④ ビスマス極板を用いた電気分解における色の変化と条件	18
	事例⑤ 千葉県南西部における約 50 万年間のアサリの形の違い	20
	事例⑥ 植物の維管束と肥大成長の関係を単位パイプモデルで考察する	22
	事例⑦ ビスマスの結晶を思い通りの大きさに作るにはどうしたらよいか	24
	事例⑧ 確率と人間の直感	26
6	評価	28

## 【令和2年度研究協力校】

県立木更津高等学校 〒292-0804 木更津市文京 4-1-1  
TEL 0438-22-6131

県立佐倉高等学校 〒285-0033 佐倉市鍋山町 18  
TEL 043-484-1021

県立柏高等学校 〒277-0825 柏市布施 254  
TEL 04-7131-0013

県立鎌ヶ谷西高等学校 〒273-0121 鎌ヶ谷市初富 284-7  
TEL 047-446-0051

## 1 探究の学習の必要性 ～なぜ今、探究なのか～

PISA2018、TIMSS2019 の調査から、「数学」及び「理科」について、我が国の生徒は諸外国に比べ、学力はトップレベルながら、学習への興味・関心・意欲について課題があることが示されています。また、これからの社会は、技術革新や情報化、グローバル化が進み、変化の先行きを見通すことが難しくなることが予想されます。このような背景から、これからの教育には、強い知的好奇心や自発的な研究態度、自ら課題を発見したり未知のものに挑戦したりする態度などの育成が求められています。

現行の探究を重視する科目では、スーパーサイエンスハイスクール(SSH)などの理数に関する学科にて行われている「課題研究」や、普通科での「理科課題研究」、「数学活用」において、興味・関心・意欲の向上や思考力・判断力・表現力の向上、主体性や探究心の向上が見られるなど、探究的な学習の教育的有用性が広く認められています。

そして、今回の学習指導要領改訂により、新教科「理数」が新設されました。この教科は、様々な事象に関わり、数学的な見方・考え方や理科の見方・考え方を組み合わせるなどして働かせ、探究の過程を通して、課題を解決するために必要な資質・能力を育成することを目指しています。さらに、「理数」の科目の一つ「理数探究」の特徴は、「生徒自らが課題を設定した上で、主体的に探究の過程を遂行し、探究の成果などについて報告書を作成させるなど、課題を解決するために必要な資質・能力を育成すること」となっています。新教科「理数」は、まさに現在の教育上の課題を解決したり、次世代を担う子供たちに求められる資質・能力を育成したりするためにふさわしい教科ということができるのではないのでしょうか。

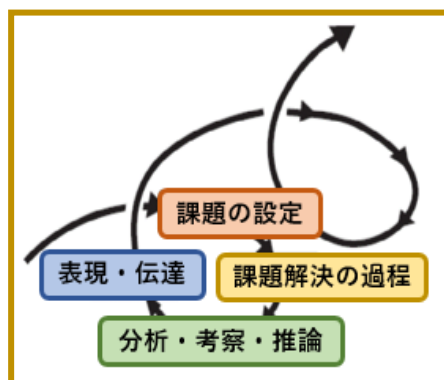
(※本冊子では混同を避けるため、教科としての理数科は「理数」、学科としての理数科は「理数に関する学科」と表しています。)

## 2 授業の進め方

「理数」の探究の過程は、「課題の設定」、「課題解決の過程」、「分析・考察・推論」、「表現・伝達」の四つがあります。この探究の過程を進めることで、自ら様々な事象に向き合っ課題を設定し、粘り強く取り組み、論理的に課題を解決し、他者に伝える力を養います。

また、探究の過程は必ずしも直線的な階段状の流れではなく、右図のように探究の過程を繰り返しながら改善し、新たな課題を見だし、解決するという学習活動を繰り返していきます。

授業の進め方に関して、詳しくは千葉県総合教育センターのWebサイト(右のQRコード)に掲載されている、『「理数」の進め方ガイドブック理論編』を参照してください。



## 探究の過程と学習内容

探究の過程		各過程の学習内容
課題の設定	自然事象に対する気付き	自然や社会の様々な事象に関わり、そこから数学や理科などに関する課題を設定する。
	課題の設定	
課題解決の過程	仮説の設定	数学的な手法や科学的な手法などを用いて、仮説の設定、検証計画の立案、観察・実験・調査等、結果の処理などを行う。
	検証計画の立案	
	観察・実験・調査等の実施	
	結果の処理	
分析・考察・推論		得られた結果を分析し、先行研究や理論なども考慮しながら考察し推論する。
表現・伝達		課題解決の過程と結果や成果などをまとめ、発表する。
次の探究の過程へ		新たな課題を見だし、更なる問題の解決を始めるという学習活動を発展的に繰り返す。探究の過程は必ずしも直線的な階段状の流れではなく、探究の過程を適宜振り返りながら改善していく。

## 3 本冊子の活用

本冊子には、探究の意義や授業の進め方などを踏まえ、「理数探究基礎」及び「理数探究」を実施する際、想定される探究の過程や生徒の主体的な学びを持続させるために必要な教師の関わり方など、参考となる具体的な指導例を掲載しています。『「理数」の進め方ガイドブック理論編』とともに、指導実践の場面でご活用ください。

指導例は、理数に関する学科における「課題研究」及び、普通科において「理科課題研究」に先進的に取り組んでいる高等学校の実践例を収集し、作成しました。これらを基に、各学校で創意工夫を生かした様々な指導方法が開発、実践されることを望みます。

### 4 研究協力校の取組の概要について

研究協力校ごとに「学校の状況」、「課題研究実施クラス」、「指導のポイント」、「年間計画」を掲載しています。課題研究に取り組んできた学校の工夫やノウハウ、指導の流れがわかるようになっています。

### 5 指導実践の事例について

各校の研究について、それぞれの探究の過程における生徒の活動状況及び教師の指導助言等と、生徒の作成した研究発表ポスターを掲載しています。各研究について、「自然事象に対する気付き」から「表現・伝達」におけるポスター作成まで、その経過を確認することができます。



新学習指導要領では、「理数」の内容の取扱いについて次の事項に配慮を求めています。

- (1) 次のような事象等の探究の過程を通して、内容に示す知識及び技能や思考力、判断力、表現力等を身に付けるようにする。
  - ア 自然事象や社会的事象に関すること
  - イ 先端科学や学際的領域に関すること
  - ウ 自然環境に関すること
  - エ 科学技術に関すること
  - オ 数学的事象に関すること
- (2) 生徒の興味・関心、進路希望等に応じて、(1)のアからオまでの中から、個人又はグループで適切な課題を設定させる。
- (3) 数学的な手法や科学的な手法などを用いる。
- (4) 探究の過程を振り返る機会を設け、意見交換や議論を通して、探究の質の向上を図る。
- (5) 探究の成果などについて、報告書を作成させる。

ここでは、(1)のア～オについて、それぞれ研究事例を見開きの形で紹介します。

左ページには、『生徒の活動及び教師の支援や工夫』を掲載しています。各過程での教師の具体的な指導助言は、吹き出しを用いて表しています。また、研究を進める上で実施しなかった過程については、割愛しています。

右ページには、(5)に「報告書を作成させる」とある通り、それぞれの研究について発表時に生徒が作成したポスターを掲載しています。なお、生徒が作成したものであり、表現や文字等は訂正せず、意図的にそのまま掲載しています。

#### それぞれの事象等についての研究事例

##### ア 自然事象や社会的事象に関すること

- ・唾液中の細菌とCOD
- ・錯視を数値化し要因を探る ～Jastrow錯視における錯視量の変化について～

##### イ 先端科学や学際的領域に関すること

- ・集音レンズを用いた新たな通信機器の開発
- ・ビスマス極板を用いた電気分解における色の変化と条件

##### ウ 自然環境に関すること

- ・千葉県南西部における約50万年間のアサリの形の違い
- ・植物の維管束と肥大成長の関係を単位パイプモデルで考察する

##### エ 科学技術に関すること

- ・ビスマスの結晶を思い通りの大きさに作るにはどうしたらよいか

##### オ 数学的事象に関すること

- ・確率と人間の直感 ～人間の直感は期待値を超えられるか～

## 6 評価について

「理数」の評価についての考え方を示すとともに、研究協力校における、研究及び研究論文についての自己評価ルーブリック（評価指標とその達成度合いによる評価基準）の例を掲載しています。

## 4 研究協力校の取組の概要

### 県立木更津高等学校

#### 1 学校の状況

1 学年 8 クラス (普通科 7 クラス 理数科 1 クラス) × 3 学年

SSH指定校 (平成 28 年度～ 1 期 5 年目)

各学年 35 単位 総合的な学習 (探究) の時間、ホームルーム活動を含む

#### 2 課題研究実施クラス

(1) 1 年生理数科 1 クラス 探究KISARAZU-I (1 単位) 担当: 理科 4 名

【4 月～11 月】

1 クラス 40 名を 20 名ずつ 2 班に分け、物理・化学実験の基本を習得

物理: 有効数字 指数計算と応用 等速度運動①②③④ ばね振り子実験①②

化学: ガラス細工 物質量の計算 化学反応と量的関係 鉄の旅

中和滴定①② 反応速度の測定①②

【12 月～3 月】

ミニ課題実験 4 名×10 班 物理・化学・生物・地学の各分野の基礎実験

物理: 「粘性と比熱の関係」「エッグドロップ選手権のための研究」

化学: 「河川水のCODの測定」「教室内の二酸化炭素の測定」

生物: 「味覚について調べる」「アナカリスの原形質流動を調べる」

「果実に含まれるタンパク質分解酵素を調べる」

地学: 「密度の測定 (地球と岩石)」「化石の殻形態の測定 (地層と化石)」

(2) 2 年生理数科 1 クラス 探究KISARAZU-II (2 単位) 担当: 理科 4 名+数学科 1 名  
グループによる課題研究

【令和元年度テーマ】

- ・すっとびボールを構成するスーパーボールの反発係数について ・数列の計算量
- ・エッグドロップ (羽の枚数による落下速度の変化) ・糸電話の音の伝わり方
- ・洗濯物の生地と洗剤との関係 ・日焼け止めの効果について
- ・千葉県南西部における約 50 万年間のアサリの形の変化 ・宇宙風船撮影
- ・カンが当たるのかどうか トランプを使って ・CODと飲料水の腐敗度の関係
- ・砂糖による甘みを感じる濃度のばらつきについて調べる

(3) 3 年生理数科 1 クラス 総合的な学習の時間 (1 単位) ※希望者 (年間計画参照)

#### 3 指導のポイント

(1) テーマの設定

ア 1 年次年度末休業の活動として、課題研究テーマの「種」と称して 2 年次のテーマを考え、研究計画表を作成する。提出されたものは「芽」として類似したテーマ

をもつ者とグループを作り、テーマを設定していく。

イ 一人一研究の方が探究の効果は高いが、コミュニケーション能力の育成も目標の一つであるため、基本的には複数人のグループを作る。

ウ 木更津SEAコラボ

土日や夏季休業中に、大学・企業の訪問や出張講義等を実施することで、科学的な視野や考え方を身に付けるとともに、テーマ設定の一助となっている。

(2) 振り返り

ノートは持ち帰らせずに授業後に提出させることで、教師からのフィードバックを行い、興味・関心の高まりにつなげたり、軌道修正をしたりしている。

(3) 授業目標の設定

年度初めの授業で提示し、生徒の目指す姿を明確にしている。

ア 着眼力（必要な情報を探し、疑問や課題を発見できる力）

イ 問題解決力（客観的な証拠を基に問題を解決し、それをわかりやすく説明・表現する力）

ウ 協働力（他者と協力して活動し、他校の生徒や専門家と交流して理解を深める力）

エ 開拓力（主体的に活動し、授業以外でも時間を有効に使い、努力する力）

(4) 教師の連携

ア 2年生 探究KISARAZU-IIについて、授業の次の日に、担当する5名の教員が同時に空く時間を時間割内に設定し、会議を行うことで、各グループの状況確認、教員のレベルアップを図る。

イ 職員研修会の実施により、どのような生徒を育てていくべきか、育成すべき生徒像の認識を共有する。

#### 4 年間計画

月	第1学年	第2学年	第3学年
	探究KISARAZU-I (1単位)	探究KISARAZU-II (2単位)	総合的な学習の時間 (1単位)
4	オリエンテーション 物理・化学 基礎実験演習	春休みに考えたテーマをもとに班 編成 仮計画書(芽)作成	
5		予備実験 <b>研究テーマ発表会</b>	各班が目指す発表会、コンテスト 等に向けて取り組む
6		本実験、中間報告会準備	<b>3サイクル目</b>
7		<b>中間報告会</b> <b>1サイクル目</b>	
8	生物・地学 基礎実験演習 (丸沼・日光野外実習)	ポスター作成、発表準備	
9	<b>野外実習での研究発表会</b> 物理・化学 基礎実験演習	<b>千葉大学高校生理科研究発表会</b>	
10		追加実験 <b>2サイクル目</b>	
11		考察の作成	
12	ミニ課題実験 教師の設定したテ ーマから選択して探究学習	論文の作成 <b>各種大会 他校発表会</b>	
1		研究論文提出締切	
2		ポスター作成	
3	<b>研究発表会</b>	<b>SSH校内発表会</b> <b>千葉県課題研究発表会</b>	
備考	春休みに2年次の研究テーマ(種) を一人三つ考える		選択履修

## 1 学校の状況

1 学年 8 クラス (普通科 7 クラス 理数科 1 クラス) × 3 学年  
SSH指定校 (平成 25 年度～平成 30 年、令和元年～ 2 期 8 年目)  
各学年 34～35 単位 ※総合的な学習 (探究) の時間、ホームルーム活動を含む

## 2 課題研究実施クラス

- (1) 1 年生理数科クラス 佐倉サイエンス (1 単位) 担当: 理科 4 名 + 数学科 1 名  
実験器具の操作や調査・検証の方法、探究活動を進めるための方法、主体的に考える姿勢、研究テーマを考えるきっかけとする。

【4 月～11 月】 10 名 × 5 班 5 つの分野をローテーションして実験実習を行う。

物理: 落体による重力加速度の測定 空気の重さの測定 温度計とのつきあい方

化学: クスノキからの樟腦の分離実験 気体の質量を測定しよう!

分子 1 個の長さや質量を測定しよう!

生物: フィールドに出よう! 微生物を培養するには (無菌操作)

少量のサンプルから全体を推定する方法 (標識再捕法)

地学: 地球の大きさを測ろう! 火山灰から宝石? を探せ!

太陽放射エネルギーを測定しよう

数学: パズルの数学 立体図形 算数の教科書を読む (英語)

【12 月～3 月】 2 年次からの課題研究に向けてテーマ設定を行う。

- (2) 2 年生理数科クラス SS 課題研究 I (1 単位)

担当: 理科全員 + 数学科数名 = 12 名

グループによる課題研究

### 【令和元年度テーマ】

- ・ 集音レンズを用いた新たな通信機器の開発
- ・ ウズラ卵の模様についての考察
- ・ 米におけるメイラード反応の防止方法
- ・ 染色能力における硬骨染色剤の使用
- ・ キュウリの果肉による発芽抑制物質を突き止める
- ・ ビスマス極板を用いた電気分解における色の変化と条件
- ・ 溶けないアイスをつくる～イチゴの成分を混ぜることで溶けにくいアイスをつくる～
- ・ 濃硝酸と銅を用いた二酸化窒素の発生実験での液色について
- ・ アナタカラダニ類の行動と食性について
- ・ 植物の分枝部分における 2 タイプの道管分配構造について
- ・ 藍染における糖類の効果
- ・ 蓑から学ぶエコな雨合羽
- ・ 泥はね減らし隊
- ・ 素材に頼らない防音
- ・ アサリの光反応の条件

- (3) 3 年生理数科 SS 課題研究 II (1 単位) 担当: 理科全員 + 数学科数名 = 12 名  
2 年生の課題を継続

### 3 指導のポイント

#### (1) テーマの設定

理数科担任がHR等で探究に関する情報を生徒に提供している。

#### (2) 振り返り

研究ノートのループリックを生徒へ提示することで、実験で得られたデータだけでなく、議論したこと、気付いたこと等の記録の重要性を認識させるとともに、記載内容の改善も図る。研究ノートへの記録により振り返りが容易になり、教師や生徒同士の議論が活発化するようになる。

#### (3) ハードルの設定

12月から2月にかけて、他のSSH指定校の校内発表会に出席させている。生徒の発表の経験や情報収集の場となるとともに、この発表会に向けて探究を進めるため、生徒のモチベーションとなっている。

#### (4) 教育課程・時間割

ア データ作成や発表ポスター作成等に考慮し、情報科の履修を3年生から1年生へ変更した。

イ 佐倉サイエンス、SS課題研究Ⅰ・Ⅱとも、その日の一番最後に時間割を設定している。授業の前に帰りのSHRを終え、佐倉サイエンスは担当の先生ごと、課題研究はグループごとに授業を終える。

ウ 佐倉アクティブ 1単位 選択 ※時間外に実施

大学・企業の訪問や出張講義等により、科学的な視野や考え方を身に付けるとともに、テーマ設定の一助となっている。

### 4 年間計画

月	第1学年	第2学年	第3学年
	佐倉サイエンス (1単位)	SS課題研究Ⅰ (1単位)	SS課題研究Ⅱ (1単位)
4	物化生地数実験実習 5科目×3回=15回	研究テーマ検討	まとめ、スライド作成 <b>3サイクル目</b>
5		研究テーマ発表会	
6		<b>1サイクル目</b>	プレゼンテーション要旨・スライド完成
7	校内口頭発表会 (参観)	校内口頭発表会 (参観)	校内口頭発表会 (発表)
8			
9		千葉大学高校生理科研究発表会	論文原稿作成
10			
11		<b>2サイクル目</b> <b>各種大会 他校発表会</b>	
12	研究テーマ検討		面談、アンケート、評価
1		ポスター作成・プレゼンテーション準備	
2			
3	研究テーマ発表会	校内研究発表会 千葉県課題研究発表会	
備考			

## 1 学校の状況

1 学年 8 クラス（普通科 7 クラス 理数科 1 クラス）× 3 学年  
SSH指定校（平成 16～20 年度、平成 23～27 年度、平成 28～ 3 期 15 年目）  
普通科 1・2 年 32 単位、3 年 31 単位 理数科 1 年 33 単位、2 年 32 単位、3 年 31 単位 ※総合的な学習（探究）の時間、ホームルーム活動を含む

## 2 課題研究実施クラス

- (1) 1 年生理数科 サイエンスラボ（2 単位） 担当：理科 4 名  
班ごとに「探究」への取り組み方を学ぶ。特に「問い」を立てること、仮説を立てることを重視している。

### 【1 学期】 物理・化学基礎実験（クラス 2 分割）

物理：重力加速度、レンズの焦点、抵抗値と抵抗体の長さ・幅の関係についての実験を行い、実験の基本操作、データの取り扱いについて学習する。  
化学：凝固点降下を題材に、求めた実験データから法則性があるのか、あるとすればどのような関係式が導かれるのかなどを、4 人一組の班で検討し、発表する。

### 【2 学期】 千葉大学発表会見学

天津小湊野外実習（2 泊 3 日 生物・地学）  
野外実習まとめ発表会（班別ポスター発表）

### 【3 学期】 テーマ設定期間（分野、班分け、先行研究調査、実験計画） テーマ決定プレゼンテーション

- (2) 2 年生理数科クラス＋普通科選択者 課題研究Ⅰ（2 単位）  
担当：理科 10 名＋数学科 1 名＝11 名

### グループによる課題研究

#### 【令和 2 年度テーマ】

##### ◎理数科

- ・正圧と負圧 ・重力と運動の関係 ・携帯できる個人用発電機
- ・水とガラスの接着 ・ストームガラスと結晶 ・ゴキブリが嫌う植物
- ・手賀沼に生育するオオバナミズキンバイの研究 ・ミスディレクションの科学
- ・ビル風を用いた発電 ・ハニカム構造を用いた液状化対策
- ・制約充足問題の解き方

##### ◎普通科

- ・音の空気振動の働き ・ハッピーターンの秘密 ・梅干しによる防納豆菌効果
- ・振動反応と塩素酸カリウム ・ケミカルライト～酸化剤・触媒による変化～

- (3) 3 年生理数科 課題研究Ⅱ（1 単位） 担当：理科 3 名  
全国 SSH 発表会、千葉大学理科研究発表会に参加。論文の作成。

## 3 指導のポイント

- (1) テーマの設定



- ア 2年次の課題研究Ⅰに向けて、1年次3学期のサイエンスラボの時間を「テーマ設定期間」とし、先行研究調査を含めテーマを考えさせる時間を長くとっている。3月に各班で設定テーマについての発表会を実施。
- イ 上級生や卒業生の発表を見学、参考にさせる。場合によっては他のSSH校等の研究報告も参考にさせ、興味を引く内容を探させる。
- ウ 既存の知識や学習したことについて、先行研究を参考にしてテーマを設定させる。
- エ 身近な現象や日常生活からヒントを探したり、実験書等のアレンジをさせる。

(2) 振り返り

- ア 課題研究開始時にルーブリックを提示し、9月の中間発表会に1回目を実施。自己評価と担当教員評価のすり合わせを行う。2月の最終発表会時に2回目を実施。
- イ 研究ノートを用意し、毎回その日に行った内容を記録し、振り返りをさせる。2～3か月に1度、中間報告のプレゼンテーションをさせる。
- ウ 発表資料作成時などに自分たちの実験とその結果、今後の予定などを考えさせる。

(3) ハードルの設定

- ア まずは先行実験で行われている実験を再現することから始め、各々で疑問に思ったところを実験で検証していく。
- イ 限られた時間、使用できる実験器具では手に負えないテーマであることが明確な場合は、テーマの再設定も含めて、解決までの流れを生徒に考えさせる。

(4) 教育課程・時間割 放課後前の2時間連続が望ましい。

- 1年次 サイエンスラボ 金曜日6・7限
- 2年次 課題研究Ⅰ 水曜日6・7限（理数科）、火曜日5・6限（普通科）
- 3年次 課題研究Ⅱ 月曜日7限

4 年間計画

月	第1学年	第2学年	第3学年
	サイエンスラボ (2単位)	課題研究Ⅰ (2単位)	課題研究Ⅱ (1単位)
4	オリエンテーション 物理・化学基礎実験		
5	日本科学未来館実習	講話「課題研究の進め方」(東京大学教授)	2サイクル目
6			校内口頭発表会(発表)
7		1サイクル目	
8			全国SSH校発表会
9	千葉大学高校生理科研究発表会 見学	千葉大学高校生理科研究発表会	千葉大学高校生理科研究発表会
10	天津小湊野外実習 東京大学柏の葉キャンパス訪問	中間発表	論文作成
11	千葉大学訪問 プレゼン研修 野外実習発表会	やんばる野外実習 (修学旅行時)	各種大会 他校発表会
12			
1	研究テーマ検討	ポスター作成・プレゼン準備 校内課題研究発表会	
2		論文作成	
3	研究テーマ発表会	千葉県課題研究発表会 関東近県SSH校発表会	
備考			



## 県立鎌ヶ谷西高等学校

### 1 学校の状況

1 学年 6 クラス 2・3 学年 7 クラス

各学年 30 単位 ※総合的な学習（探究）の時間、ホームルーム活動を含む  
理科課題研究の実施 平成 26 年度より開始し、7 年目

### 2 課題研究実施クラス

3 年生選択者（令和 2 年度は 4 名） 理科課題研究（2 単位） 担当：理科 1 名  
科学に関する課題を設定し、観察・実験などを通して研究を行い、科学的に探究する能力と態度を育てるとともに、創造性の基礎を培う。

#### 【1 学期】

- 数値を扱う基礎として、有効数字の扱いなどの確認を行う。
- 物理・化学・生物・地学の各分野の実験実習を行う。

数 学：測定値と有効数字  
物 理：糸電話を作ってみよう  
化 学：タマネギの皮で染色しよう  
生 物：ブロッコリーの DNA を見ってみよう  
地 学：岩石や金属の密度を測定しよう  
その他：ダイラタンシーの実験

- 研究テーマの検討

#### 【令和 2 年度テーマ】

- ・ビスマスの結晶作り
- ・粘菌の飼育と行動
- ・火山の形状について
- ・静電気の利用

#### 【令和元年度テーマ】

- ・学校周辺の水質調査
- ・ジャイロ効果を考える

- 研究・実験計画の立案

○研究テーマ発表会：自分の研究テーマを他人に説明し、互いに質問し合うことで、より理解を深める。また、テーマを広げ、違う方向性の考えを見いだす。

#### 【2 学期】

- 研究の実施、中間発表会
- 研究の見直し、再実験や追加実験の実施

#### 【3 学期】

- 最終発表会：ポスターを作成し、校内口頭発表会を行う。

### 3 指導のポイント

#### (1) テーマの設定

ア 物理・化学・生物・地学の各分野の共通実験を行うことで、各自のテーマ設定およびそのテーマに基づいた課題の設定のしかたについて、展望を持たせた。

イ 研究テーマ・課題についての発表会を行い、自由な意見交換によって研究の方向性を確認したり、共同実験者を募ったりさせた。

ウ あらかじめ設定した共通実験だけでなく、生徒の要望に応じて試行実験を行った。

(2) 振り返り

ア 共通実験では、毎回レポートを提出させた。その中で、実験の結果をまとめさせるだけでなく、研究テーマとするには、さらにどのような実験を進めていけばよいかを考察させた。

イ 各自の研究においては、毎時間の実験内容を記録し、必要に応じて研究の方向性や安全面などの話し合いをもった。

(3) ハードルの設定

ア 研究テーマの発表会を実施すること。

イ 各自の研究の中間発表会を実施すること。

ウ 研究内容のポスターを作成し、最終発表会を実施すること。

(4) 教育課程・時間割

1年次 化学基礎（3単位） 全員履修

2年次 物理基礎・生物基礎・地学基礎より1科目選択（3単位） 選択必修履修

3年次 1・2年で履修していない基礎科目を1科目（3単位） 選択必修履修

選択①群より物理・化学・生物・地学を1科目（3単位） 選択履修

選択②群より理科課題研究（2単位） 選択履修

4 年間計画

月	第1学年	第2学年	第3学年
	化学基礎（3単位）	（物理・生物・地学）基礎から1科目選択（3単位）	理科課題研究（2単位）
4	物質の成り立ち		共通基礎実験
5		速度の測定実験（物理）	↓
6	物質の構成要素	顕微鏡での細胞観察（生物）	
7			研究の実施
8			1サイクル目
9	物質と化学変化	原形質流動観察（生物）	発表資料作成
10		地球カレンダー作成（地学）	校内課題研究中間発表会 追加実験の実施
11	中和滴定実験	波動実験（物理）	2サイクル目
12			発表準備
1	酸化と還元	静電気実験（物理） 壁新聞作成（生物）	校内課題研究最終発表会 アンケート・評価
2	酸化還元反応実験		
3			
備考			

## 5 指導実践の事例

### 事例① 唾液中の細菌とCOD

#### ●生徒の活動及び教師の支援や工夫

各過程	生徒の活動	教師の支援や工夫
気付き	○昨年度、川の汚れについて実験を行っていた。今年はより身近な水について調べようと思った。飲みかみずのものなど菌が繁殖しやすいという話を聞いたため、市販されている水のペットボトルで実験することとした。	○先行研究を調べることで、自分たちの研究テーマが設定できるようにする。
	昨年学習した内容を、より身近なものを使って調べられないか。	
課題の設定	○唾液が水の腐敗にどれだけ影響するかを、過マンガン酸カリウム水溶液を用いたCODの測定（水中の有機物の量）によって求めた。 ○さらに唾液を含む水を室温で放置し、そのCODの値を求めた。	○実験を行うことが可能か、共に考える。 ○これから学習する内容が必要な場合は、理論を確認する。
仮説の設定	○唾液の中の菌が二次関数的なグラフを描くように増えていくと仮説を立てた。また、増える原因となる菌が少ないため、CODの変化は大きくないと仮説を立てた。	○生徒の考えを否定せず大切にす。
検証計画の立案	(1) 試料水 100mL に 2.0mol/L の硫酸水溶液を 10mL 加えた。 (2) 200g/L 硝酸銀水溶液を 5mL 加え、試料水に含まれる塩化物イオンを沈殿させた。 (3) 0.50mol/L の過マンガン酸カリウム水溶液を正確に 10.0mL 加えた。 (4) 湯せん(100°C)で30分間加熱。このとき、試料水中の有機物が完全に酸化された。 (5) 0.0125mol/L シュウ酸ナトリウムを正確に 10.0mL 加えた。 (6) シュウ酸イオンと反応して無色の水溶液となった。 (7) 60°C~70°C に保ちながら、0.0050mol/L 過マンガン酸カリウム水溶液をビュレットから滴下し、滴下した過マンガン酸カリウムの赤紫色が消えなくなったところを滴定の終点とした。	○検証計画の確認 ○使用する薬品の濃度についての確認
実験・結果の処理	○口に含んでいない水は、長期間放置してもほとんど変化が見られなかった。 ○一度口に含んだ水は二次関数的な変化を予想したが、そうはならなかった。	得られた結果から、過マンガン酸カリウムの濃度に不安があるため、再実験してはどうか。
分析考察推論	○原因となる菌が少なかったためと考えられた。 ○薬品の劣化、計測するタイミングが不定期だったことが考えられた。 ○原因となる菌量の差が表れたためと考えられた。	○得られた事実に基づいて考察させる。
表現伝達	○令和元年9月28日、千葉大学高校生発表会に参加し、ポスター発表。 ○令和元年11月12日、千葉大学教授を招いて、発表。指導を受けた。	○当日スムーズに発表できるよう、発表練習を行う。 ○様々な意見を素直に聞ける態度を心がけさせる。
新たな展開	○まだまだ変化が見られない恒温状態の水を長期にわたって観察していった。 ○誤差があったので1か月ごとに定期的に実験を行っていった。 ○試料を一度に作って劣化を防いだ。 ○市販されているペットボトルの水では、想定されていた結果とならず、直線に近似し、限界があった。 ○千葉大学での発表でイオン交換水での実施を助言され、実施した。	発表会でいただいた助言などから、今後の実験予定を立てよう。
課題の設定	○何も手を加えていない水を40°C(夏の気温を想定)の恒温状態で長時間放置し、そのCODの変化を調べた。 ○唾液を含む水も同様に恒温状態で放置し、CODの変化を調べた。	○千葉大学から講師を招き、今後の研究について学べる場を設けた。
仮説の設定	○唾液の中の有機生物が繁殖し、有機生物の量が二次関数的に増えるのではないかと。 ○有機生物にとっての栄養が、唾液有りの水の方が唾液無しの水よりも多く含まれているため、より早くより多くの有機生物が繁殖するのではないかと。	実験操作にも慣れてくるが、安全面に注意し、記録を確実に残そう。
検証計画の立案	○イオン交換水に試料を変えて、CODの変化量を調べる。それ以外の手順については、以前と同様にした。	○安全に関する指導 ・道具の扱い ・希釈の仕方 ○滴定の終了のタイミングの確認
	酸化還元の意味を考えながら、実験しよう。	
実験・結果の処理	○有機生物の二次関数的な増加は見られなかった。 ○水中の有機生物の量が減った。 ○放物線よりも直線の方が近似曲線として適当であった。	
分析考察推論	○有機生物の量が減少したのは、イオン交換水があまりにもきれいだったため、有機生物が死滅してしまったのではないかと。 ○唾液の中に存在する有機生物は微生物や菌のための分解者と言え、その分解者が有機物を分解して無機物にしたことでCODの値も小さくなったのではないかと。	○得られた事実に基づいて考察させる。
表現伝達	○令和2年1月 論文の提出 「唾液中の細菌とCOD」	○執筆要項に基づいて論文を作成させる。
新たな展開	○今回の結果を受けて ・他の種類の溶液ではどうか。 ・水の中に入れる口に含んだ水を多くしたらどうか。 ・計測のスパンを変えてみてはどうか。 ・冬を意識した低温状態ではどうか。	○この先の研究について、どのような実験をすれば考察が深まるか考えさせる。



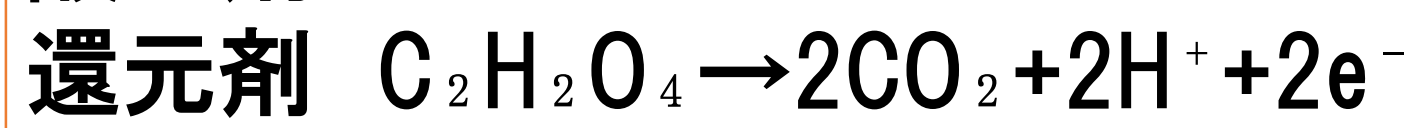
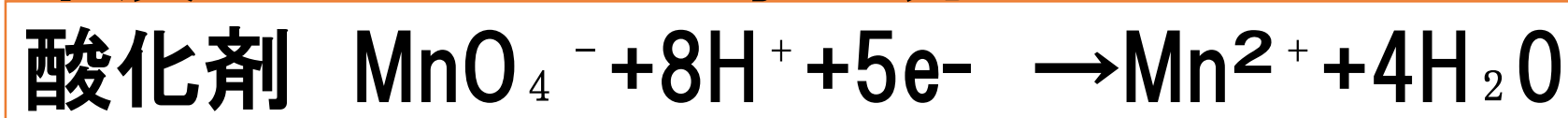
# 唾液中の細菌とCOD

千葉県立木更津高等学校

## 1 研究の目的

「一度口をつけた水は腐りやすい」という話に注目し、それが本当なのかを確かめるために、一定量を一度口に含んだ水と唾液無しの水をそれぞれ用意し、長期間・40°Cの状態に放置し、水中の有機物を完全に酸化させるために必要な酸素の量であるCOD(Chemical Oxygen Demand, 化学的酸素要求量)の値を用いて変化を調べた。  
※今回試料水に用いる水はイオン交換水を用いた。

### 半反応式～CODの求め方

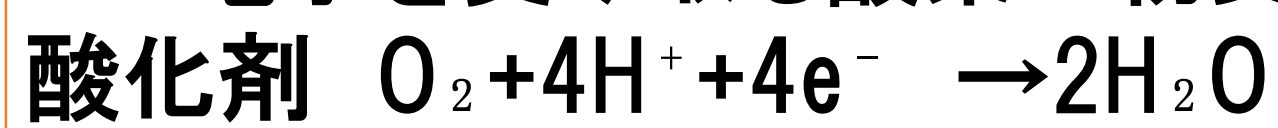


酸化剤の受け取る電子 = 有機物が出す電子 + 還元剤の電子、つまり

過マンガン酸カリウムの受け取る電子の和 = 有機物が放出する電子 + シュウ酸ナトリウムの放出する電子

$$0.0050\text{mol/L} \times 10.0/1000\text{L} \times 5 + 0.0050\text{mol/L} \times \alpha/1000 \times 5 = x[\text{mol}] + 0.0125\text{mol/L} \times 10.0/1000\text{L} \times 2$$

$x$ の電子を受け取る酸素の物質量を $y$ と置くと、



この半反応式から、1molの酸素は4molの電子を受け取ることが分かる。

$$y[\text{mol}] \times 4 = x$$

$32 \times x \div 4 =$ 有機物を酸化させるのに必要な酸素の質量(zmg)

CODは試料水1Lに含まれる有機物の酸素の質量のため、

$$z(\text{mg}) / (100/1000\text{L}) = \text{この試料水のCOD}$$

## 2 実験

過マンガン酸カリウムを酸化剤、シュウ酸ナトリウムを還元剤として酸化還元滴定を行い、水中の有機物の量を酸素の量に換算して、CODの値を比べる。

### (1) 仮説

- ・唾液の中の有機生物が繁殖し、有機生物の量が二次関数的に増えると予想した。
- ・唾液有りの水の方が有機生物にとっての栄養が唾液無しの水よりも多く含まれているためより早く、より多くの有機生物が繁殖していると予想した。

### (2) 実験操作

- ① 試料水100mLに2.0mol/L硫酸水溶液を10mL加える。
- ② 200g/L硝酸銀水溶液を5mL加え、試料水に含まれる塩化物イオンを沈殿させる。
- ③ 0.0050mol/Lの過マンガン酸カリウム水溶液を正確に10.0mL加える。
- ④ 湯浴(100°C)で30分間加熱する。このとき、試料水中の有機物が完全に酸化される。
- ⑤ 0.0125mol/Lシュウ酸ナトリウム水溶液を正確に10.0mL加える。
- ⑥ シュウ酸イオンが過マンガンイオンと反応して無色の水溶液となる。
- ⑦ 60～80°Cに保ちながら、0.0050mol/L過マンガン酸カリウム水溶液をビュレットから滴下する。過マンガン酸イオンの赤紫色が消えなくなったところを滴定の終点とする。
- ⑧ 滴下量を次式の $\alpha$ に代入して $x$ と置いた有機物が放出する電子の物質量を求める。

## (3) 結果

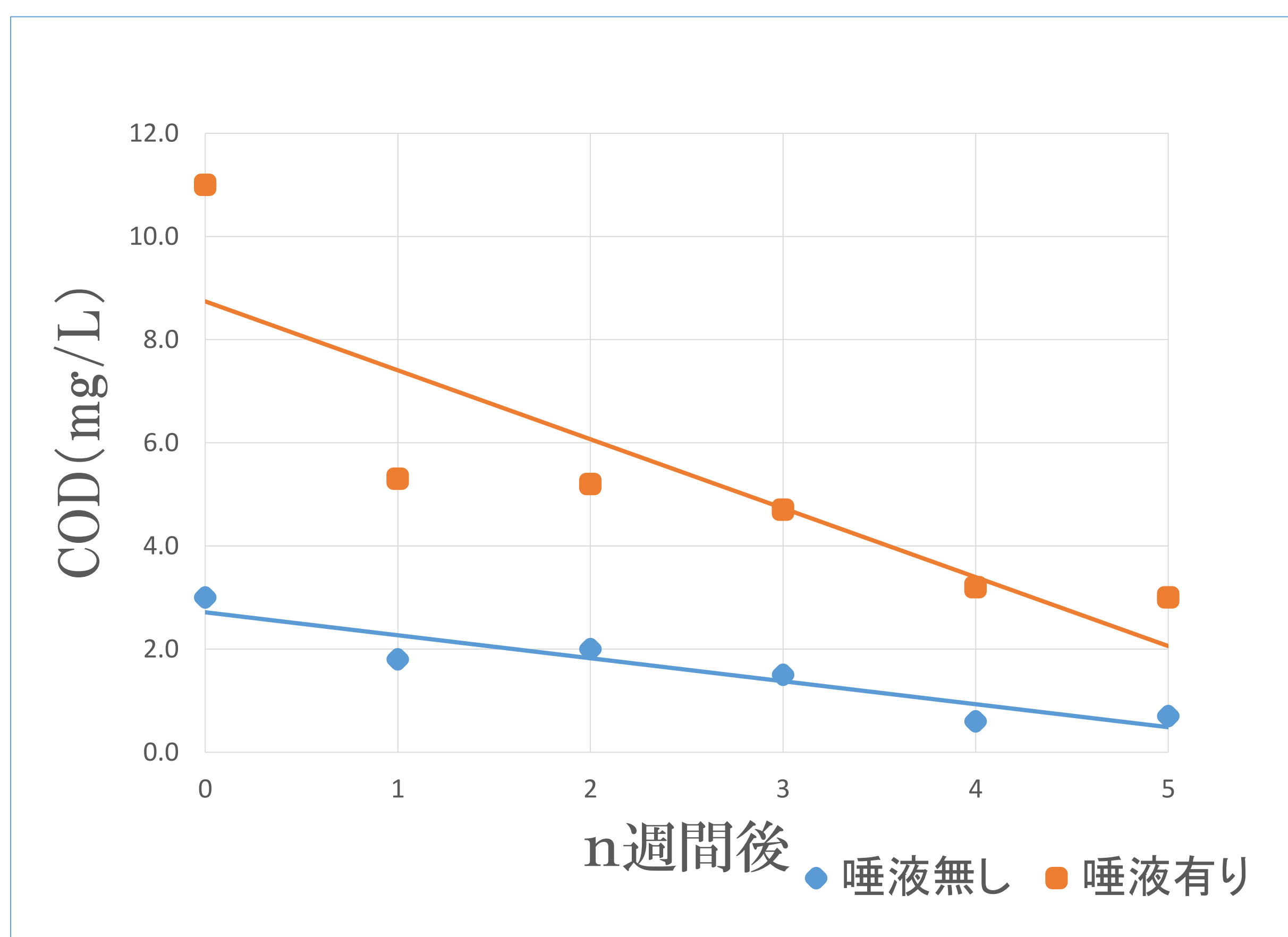
- ・仮説として立てた有機生物の二次関数的な増加は見られなかった。
- ・それどころか、水中の有機生物の量が減ってしまった。
- ・放物線よりも直線の方が近似曲線として適当であった。

### 滴下量

	作成直後	1週間後	2週間後	3週間後	4週間後	5週間後
唾液無し	1.50	0.92	1.01	0.77	0.30	0.70
唾液有り	5.50	2.67	2.60	2.36	1.62	1.50

### COD

	作成直後	1週間後	2週間後	3週間後	4週間後	5週間後
唾液無し	3.0	1.8	2.0	1.5	0.6	1.4
唾液有り	11.0	5.3	5.2	4.7	3.2	3.0



## 3 考察

- ・有機生物の量が減少してしまったのは、イオン交換水があまりにも綺麗だったため、有機生物が死滅してしまったからだと考えられる。
- ・また唾液の中に存在する目に見えない有機生物は微生物や菌のため分解者と言える。その分解者が有機物を分解して無機物にしたことでCODの値も小さくなったと考える。

## 4 まとめ

今回の実験では、仮説を立てていた二次関数的な増加グラフとは違い、むしろ直線的な減少グラフになった。仮説では、唾液の中に存在している菌が有機物を食べ、子を産みその子が親の死骸を食べていくことで有機物の量が増えてその結果CODの値も大きくなると考えたがそれに反して直線的にその値は減少していった。これはとても予想外で驚いた。

## ○今後の展望

今回予想外だった結果を生かして他の種類の溶液でもやってみるとよいと思った。また、今回は夏場を想定して、40°Cの状態を保っていたがこの温度を、冬を意識した低温状態でもやってみたいと思った。その他にも計測のスペンを変えてみたり、水の中に入れる口に含んだ水をさらに多くしてみたりと様々なバリエーションがあるため条件を変えて実験をしてみたいと思った。

## 5 参考文献

水環境研究所 COD試験 [www.kc-center.co.jp/suisitsu/column/](http://www.kc-center.co.jp/suisitsu/column/)



## 事例② 錯視を数値化し要因を探る

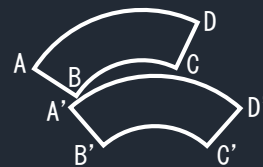
### ●生徒の活動及び教師の支援や工夫

各過程	生徒の活動	教師の支援や工夫
気づき	○漫画にジャストロー錯視が取り上げられており、興味をもったため研究を始めた。	○普段の生活や身のまわりから、興味のあるものを考えさせる。
課題の設定	○感覚的な現象ともいえる錯視（錯視量）の数値化を目標として、課題を設定した。	結果を数値で扱い、客観性をもたせられるようにしよう。
仮説の設定	○ジャストロー錯視の錯視量は、隣接する辺の長さの差にあると考えた。	○予想される結果を考えながら、仮説を立てさせる。
検証計画の立案	(1)7パターンのジャストロー錯視を作成し、隣接する辺の長さを変える動画を作成、錯視量を求めた。上下の図形が合同だと感じる瞬間までの時間を、錯視量とした。 (2)曲線の影響を調べるため、底角の異なる台形のジャストロー錯視を6パターン作成し、最大の錯視量を調べた。 (3)カフェウォール錯視、エビングハウス錯視を作成し、ジャストロー錯視で錯視量が大きくなる条件が当てはまるかを調べた。	○錯視量の定義を、しっかりと定めるように指導。 他の錯視との違いについても、考えに入れてみてはどうか。
実験・結果の処理	○近隣の小学生を含む被験者に協力してもらい、錯視量を求めた。	○測定を正確に行い、得られた結果の信頼性を高められるように。
分析考察推論	(1)について、ジャストロー錯視が起きると考えられる要因（仮説）と異なる結果が得られた。 (2)(3)より、錯視量が大きくなる条件の共通性があることが考えられた。	○実験データから何がわかるか、よく考えさせる。
表現	○9月 千葉大学でポスター発表 ○2月 校内最終発表会（口頭発表） ○3月 千葉県発表会でポスター発表	○プレゼンテーション練習指導。
新たな展開	○生物分野からのアプローチの可能性も模索した。最終的には物理分野での研究となった。	他の分野から、再度考えてみてはどうか。
気づき	○2年次までに行ってきたこと（動画による錯視量の数値化）を踏まえて、今後、課題研究をどう進めていくか、考えた。	○2年次までに行ってきたことを把握し、今後どう進めていくか、考えさせる。
課題の設定	○ツェルナー錯視、ミュンスターバーグ錯視・カフェウォール錯視について、動画による錯視量測定を考えていたが、当初に始めたジャストロー錯視については、この形の時の錯視量はいくつというデータだけで、それより錯視について深く研究する方法も思い浮かんでいなかった。	ポンゾ錯視、デルブーフ錯視、エビングハウス錯視、リップスの弧の大きさの対比を見ると、線の延長と空白の大きさが、錯視に関係しているのではないかと。
仮説の設定	○ジャストロー錯視が起きるのは、線の延長と空白の大きさが、錯視に関係している。	○ジャストロー錯視について、線の延長と空白の大きさに関係していることを検証するように実験計画を立てさせた。
検証計画の立案	○ジャストロー錯視の形が、弧の中心角を変えることによって、いろいろなジャストロー錯視の形をつくった。その扇形の縦線を除いた形での錯視量と扇形での錯視量を測った。	○扇形の縦線を除いた形でも、リップスの弧の大きさの対比のように線の延長が感じられて錯視が起きているのか？また、線の延長ともう一つの線の延長との間の空白の大きさが、錯視に関係しているのか？わかるように実験計画を立て、錯視量によって検証できるのではないかと指導。また、その際いろいろな人にしてもらうため、実験環境をそろえさせた。
実験・結果の処理	○50人に協力してもらい、一人一人の錯視量から平均値を求め、仮説が正しいのか検証した。柏駅前での街頭調査も行った。	○なるべく多くの人に協力してもらい、より客観性のあるデータにする。
分析考察推論	○仮説が正しいことが検証された。また、扇形の位置関係によっても、扇形の曲線の曲がり具合によっても、錯視量が変化することがわかった。ジャストローは、錯視の原因は隣接する辺の長さの差によるものとしていたが、違うことがわかった。	定説と違う結果が導かれてもよい。
表現	○第13回高校生理科研究発表会において、「錯視を数値化し要因を探る～Jastrow 錯視における錯視量の変化について～」として発表した。	○プレゼンテーション練習指導。 ○論文指導。



# 錯視を数値化し要因を探る

～Jastrow 錯視における錯視量の変化について～



千葉県立柏高等学校

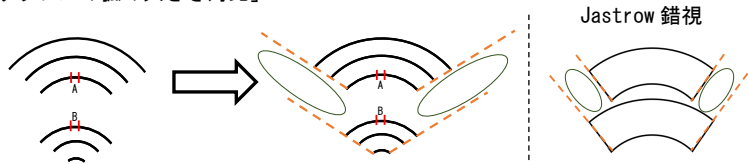
## Introduction

錯視量とは、錯視によって変化した大きさの量である。Jastrow は Jastrow 錯視を合同な図形を上下に並べると図形の隣接する辺の長さの差によって下の図形が大きく見えると発表した。私たちは Jastrow 錯視の錯視量の測定を試み、Jastrow の発表したことが事実なのかまた、錯視量の変化を研究した。

## 実験 I : Jastrow 錯視が起きる要因の特定

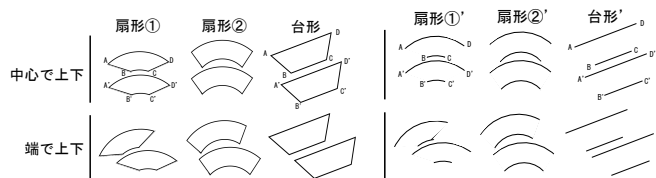
### なぜ両端の辺が錯視を起こすのか

「リップスの弧の大きさ対比」

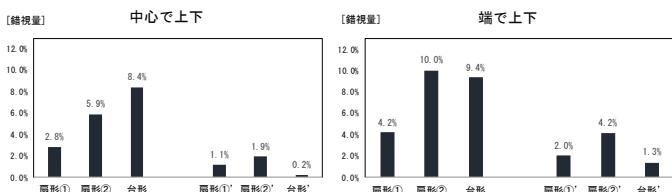


Jastrow 錯視の錯視量を測定し数値化を試みた。

Jastrow 錯視の図形の、辺 A D, B C, A' D', B' C' のみの図を作成し錯視量を測定した。



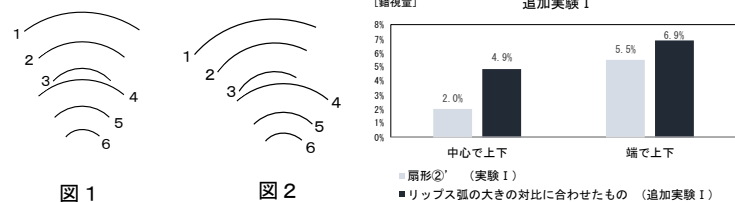
## 結果



両端の辺を無くすと錯視量が大幅に下がった事から、両端の辺の存在が錯視の起きる大きな要因になっていると言える。

## 追加実験 I

扇形②' をリップスの弧の大きさ対比の図に近づけた錯視を作成し、錯視量を測定した。

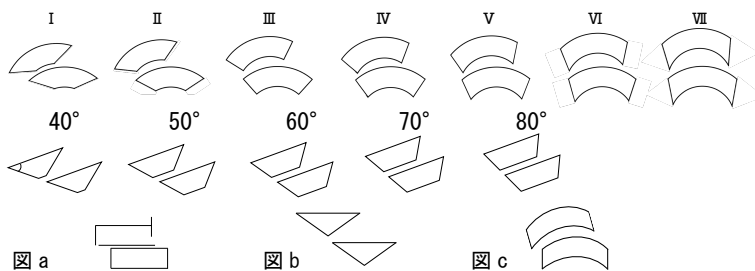


## 結論

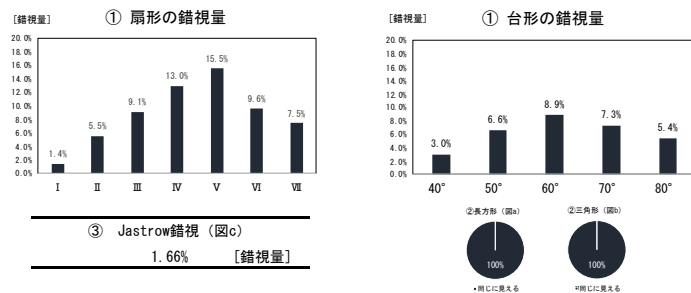
Jastrow 錯視の起きる要因は図形の隣接する辺の長さの差だと Jastrow は発表したけど、実際は両端の辺の延長線を想像してできる線との間の空白が要因だ。しかし、空白の大小で錯視量の大小は比例しない。また直線より曲線の図形の方が錯視量を大きくする。

## 実験 II : 図形の形による錯視量の変化の測定

- ① 形の異なる扇形と台形を用いて端の位置に合わせた Jastrow 錯視を作成し、実験 I と同様に錯視量を測定した。
- ② 三角形と長方形を用いた Jastrow 錯視は錯視が起きるか確かめた。
- ③ 曲率半径が同じで曲線の長さが同じ扇形で錯視量を測定した。

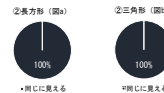


## 結果



### ③ Jastrow錯視 (図c)

1.66% [錯視量]



## 考察

- ・図形の形の変化によつての錯視量の変化が実験 II の結果のように山形になったのは、錯視が起きない三角形や長方形に概ね近づくとつれて錯視量が下がったからだと思われる。
- ・空白の大きさと錯視量は必ずしも比例しない。これは空白が大きい図形の辺 BC (辺 B' C') の長さが短く、辺 AD と辺 A' D' を直接比べてしまうからである。これにより両端の辺による錯視の効果が発揮されない。
- ・辺 AD と辺 BC (辺 A' D' と辺 B' C') の長さが等しい扇形 VII で錯視が起きた。
- ・図 c より辺 AD と辺 BC (辺 A' D' と辺 B' C') の曲率が等しい図形で錯視が起きた。「辺の長さの差で錯視が起きる」というのは間違い
- ・扇形は台形の錯視の錯視量を概ね上回る。

曲線のカーブは錯視を起こしやすくする

### 事例③ 集音レンズを用いた新たな通信機器の開発

#### ●生徒の活動及び教師の支援や工夫

各過程	生徒の活動	教師の支援や工夫
気づき	○イルカの頭部にあるメロンという脂肪組織は、集音レンズの役割を果たしていることを聞き、興味をもった。調べてみると、どうやらメロンは音響レンズとして、超音波を屈折させ一定方向に収束させることができるということだ。不思議だと思った。	○興味のある現象や事柄について情報を集めておくことを伝えている。また、生徒の科学的興味関心が高まるような情報を、HRや授業を通して伝えている。
課題の設定	○イルカの頭部にあるメロンの仕組みをより深く知りたいと思った。油を用いて水中で音を集めるレンズを製作すれば、集音レンズを利用した通信手段を開発できるのではないかと。 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;">生物学的な視点に加えて、物理的な視点での調査も必要だろう。</div>	○課題の設定を検討していく過程で、主として物理的な内容の課題になったため、生物担当から物理担当の教師へ担当を変更し、専門的な支援ができる体制を整えた。
仮説の設定	○脂肪(油)の集音効果の仕組みを調べることで、通信機器を開発するための基礎研究となるだろう。 ○実験1の仮説：フラスコに油を入れれば、レンズと同様に集音できるのではないかと。	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;">現象を再現(油を入れたフラスコで集音)できるか。</div>
検証計画の立案	○実験1：油を入れたフラスコは音を集める集音レンズになるか。 (1)300mLフラスコにキャノーラ油を入れる。 (2)水を入れた1532mm×150mm×565mmの水槽に、音源(スマートフォン)、レンズ、マイクを入れ、一直線上に並べる。 (3)レンズの表面より7~6cmの距離を1cm刻みにマイクの位置を移動させ音量を測定。 (4)任意の箇所でも60回測定し平均を取る。 (5)油がレンズになることを確認するため、フラスコに水を入れたものも同様の条件で実験を行う(対照実験)。	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;">実験の条件をそろえて(60回測定でなく、10回1セットを6セット行う)はどうか。 実験装置を改良(水槽について音の反射の影響を減らすためにウレタンで覆う)してはどうか。</div>
実験・結果の処理	○結果1：10cmの時に最大音量が測定された。フラスコに油を入れたものが集音レンズになった。焦点以外の距離では、フラスコに水を入れたものより平均が下がったため、油やガラスが音の吸収反射に影響している。水を入れたものが一定にならなかったことから、静かな環境で行うことが必要と考えた。	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;">音源がスマホだと音が拡散するため、指向性スピーカーを使用してはどうか。</div>
分析考察推論	○実験1：フラスコに油を入れたものは、10cmで音が大きくなったため、集音レンズになったと言える。焦点以外の位置で油を通すと音量が下がってしまうのは、油に音を吸収する作用があるからではないかと。	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;">集音のデータをグラフ化し、考察してはどうか。</div>
表現伝達	○ポスターセッション準備 ○大学での発表(9月)準備	○見やすい分かりやすいポスターの作り方を指導した。
新たな展開	○より集音するレンズを作るために油の種類を変えて実験する。	○課題解決には基礎研究が大事であり、一つずつ疑問を解き明かしていくことが、課題解決の近道であると伝えている。
気づき	○焦点以外の位置で油を通すと、音量が下がってしまう現象があった。音量はどのくらいで変化するか、さらに条件を変えてデータを集める必要があるのではないかと。	○一つ目の実験結果から不明なこと、不思議に思うことを整理させ、次の課題とする。
課題の設定	○焦点以外の位置で油を通すと音量が下がってしまう理由を探る。(⇒実験2の仮説へ) ○油の温度によって集音が変わるかどうかが調べる。(⇒実験3の仮説へ) ○油の種類によって集音が変わるかどうかが調べる。	○研究グループは気の合う生徒で組んでも良いし、同じ現象に興味をもった生徒同士で組んでもよいとした。
仮説の設定	○実験2の仮説：フラスコのガラスの表面で音は反射するのではないかと。 ○実験3の仮説：油の温度と状態変化によって、集音が変化するのではないかと。強い音波の発生条件があるのではないかと。	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;">音の反射について、先行研究と文献調査により、未知のことと既知のことについて整理し、その上で仮説を立ててはどうか。</div>
検証計画の立案	○実験2：音がガラスの表面でどのくらい反射しているか確認する。 (1)直径の異なるフラスコ(200mLと300mL)を用い、水を入れて比較する。 (2)フラスコの音源側の表面より16~20cmの距離を1cm刻みに測定する。 (3)その他は実験1と同様にする。 ○実験3：温度の異なる条件下での音量を測定する。油の種類や、状態変化による音の吸収量の違いを調べる。	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;">適切な実験材料の選定について、数種類の油を調べてはどうか。</div>
実験・結果の処理	○結果2：二つのフラスコではおよそ3dBの差が生じた。表面積が大きいフラスコの音量が小さく、反射によるものと考えた。 ○結果3：温度が高くなるにつれ、全体的に音量が大きくなることが分かった。	
分析考察推論	○実験2：フラスコの大小で反射する音の差が大きかったことより、今後はレンズの表面積における反射量も考慮する必要がある。 ○結果3：振動数を小さくしたことが影響して、焦点ができなかったのではないかと。	○生徒が分析や考察につまったときには、生徒が自ら考えられるように、教師が質問をしていく。生徒は質問に回答する過程で、分析、考察のヒントを得られる。
表現伝達	○大学教授による英語指導(12月) ○海外研修(韓国)での発表(英語)にむけた資料作成(1月)	○見やすく分かりやすいポスターの作り方を指導した。
新たな展開	○油の温度によって音の吸収量の違いを調べる。ガラスを使用しない方法として、風船を用いてはどうかを検討する。	○課題解決には基礎研究が大事であり、一つずつ疑問を解き明かしていくことが、課題解決の近道であると伝えている。





# 集音レンズを用いた新たな通信機器の開発

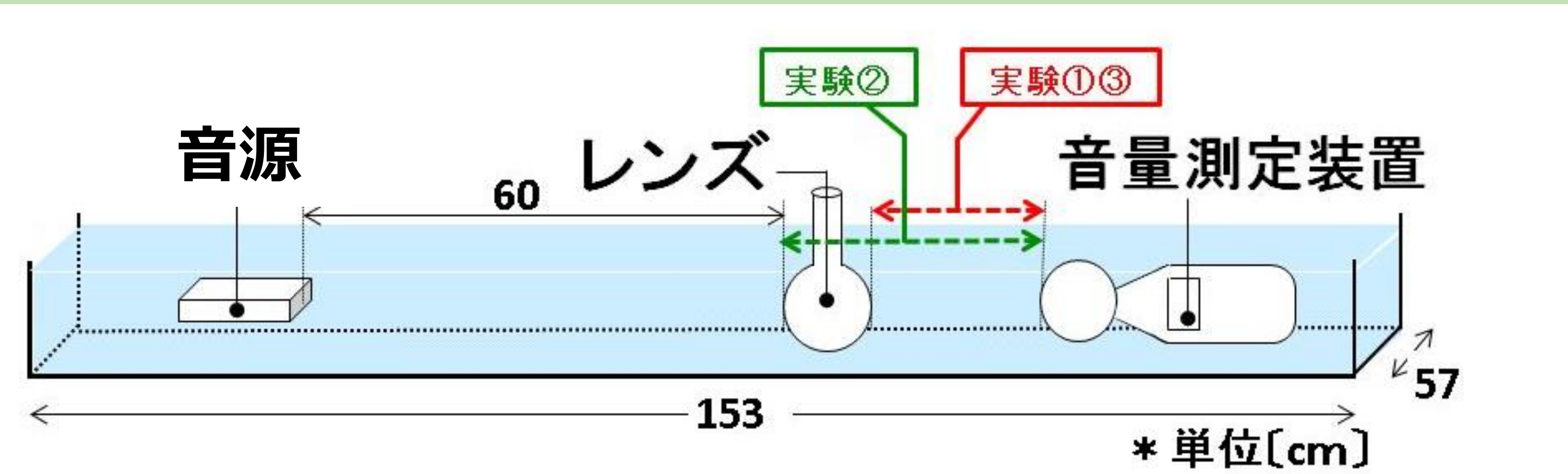


千葉県立佐倉高等学校

## 概要

私たちはイルカのエコーレーションシステムに基づいて、集音レンズを作ろうとしている。キャノーラ油を用いてレンズを製作し、水中で音を通して音量を測定した。その結果、焦点距離で最大音量を計測することができた。また、フラスコの表面では音が反射してしまった。今後は、より音を集めやすく、焦点を自由に調整できる油を探し、集音レンズを作ること目標としている。

## 方法



**実験1**  
水温 34.0℃  
音波 1000Hz

油 25.5℃ Or 水 35.0℃

**実験2**  
水温 28.0℃  
音波 1000Hz

大きいフラスコ Or 小さいフラスコ

**実験3**  
温度を変えた実験  
20℃, 25℃, 30℃, 35℃, 40℃  
音波 401.4Hz

フラスコの表面と音量測定装置との距離

**実験1**  
8 cm~17 cm 1 cmずつ  
それぞれ60回の施行

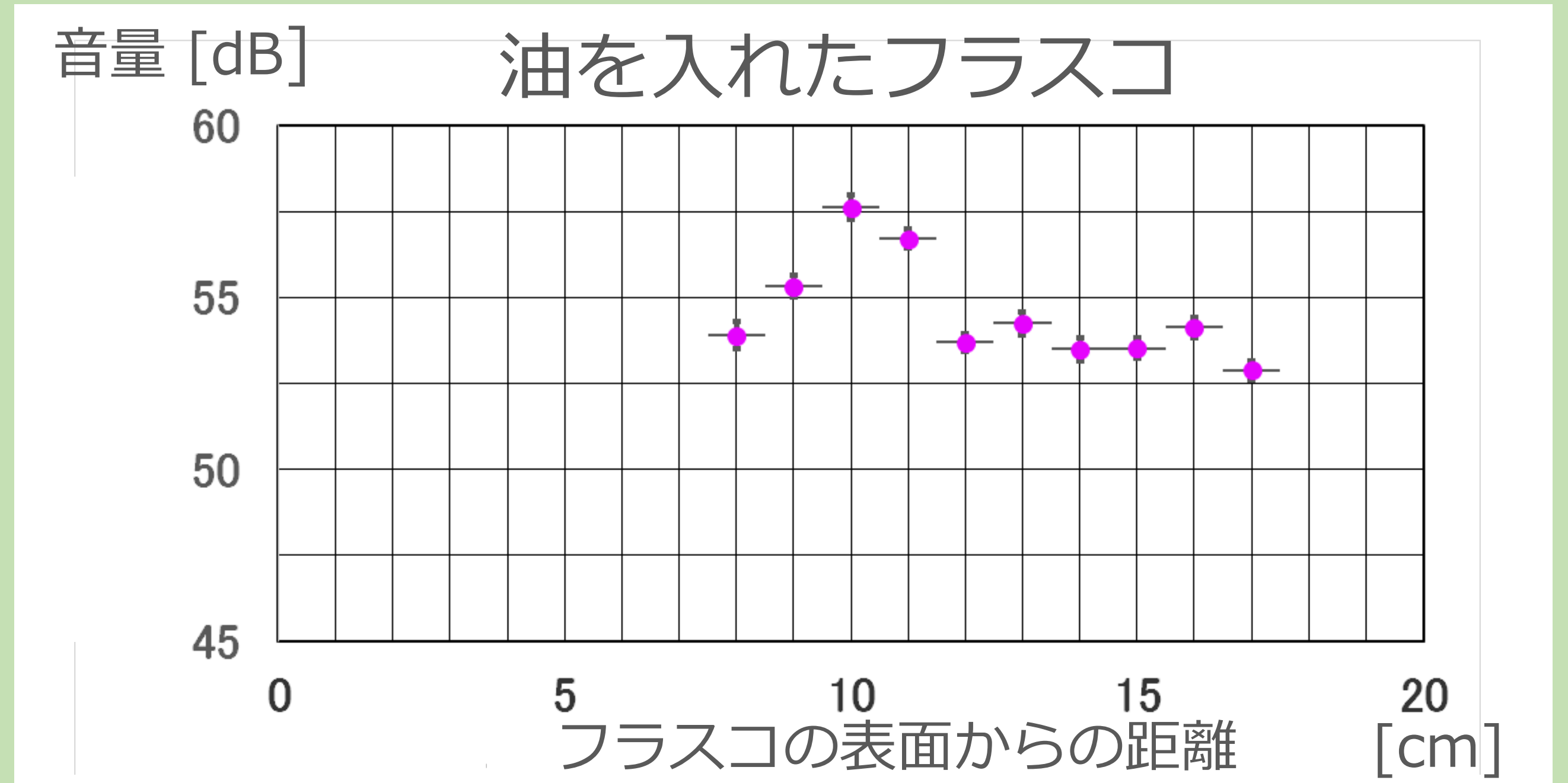
**実験2**  
15 cm~19 cm 1 cmずつ  
それぞれ20回の施行

**実験3**  
4 cm~17 cm 1 cmずつ  
それぞれ20回の施行

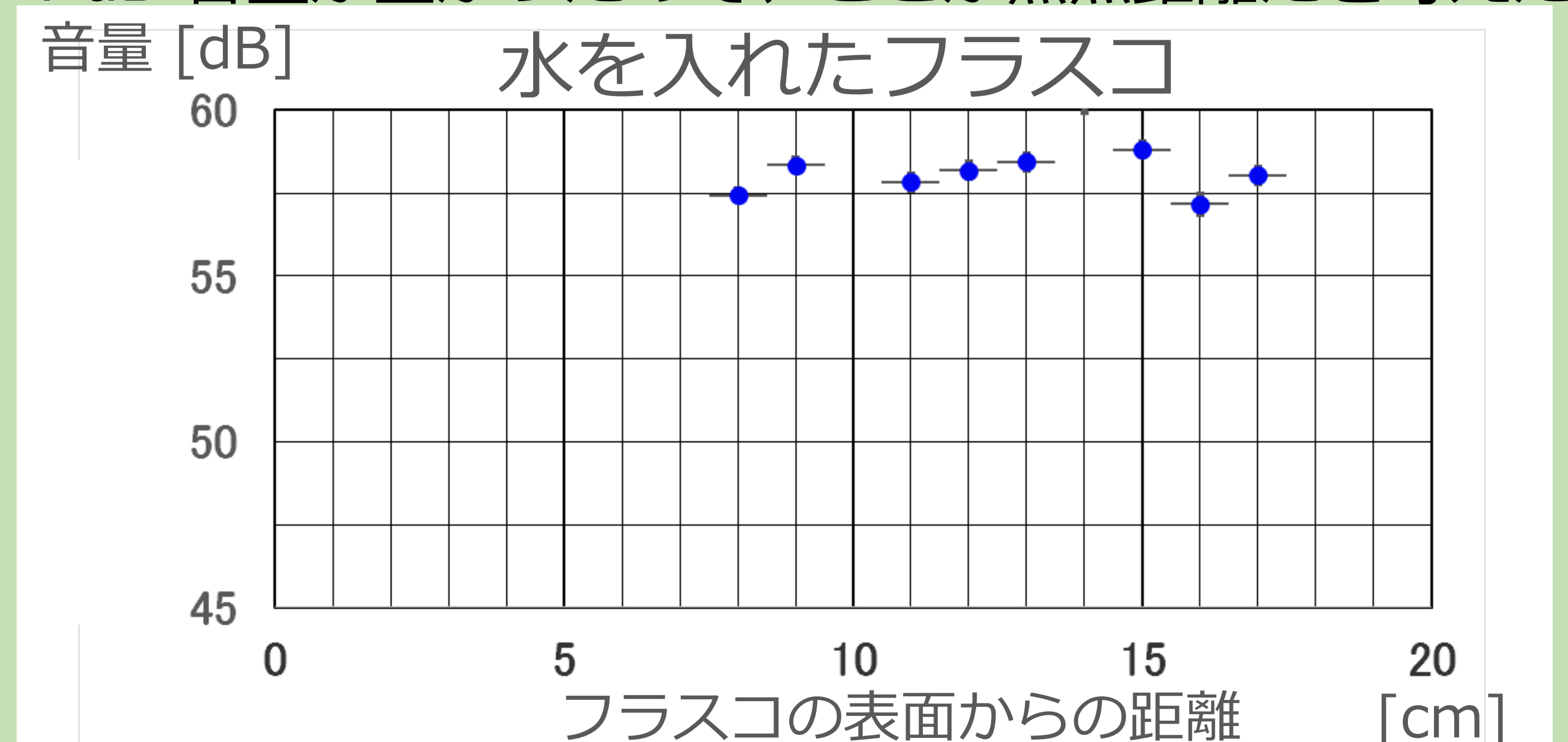
## 実験 I

目的 レンズが音を集めることを確かめる。

結果と考察



- 10 cm で最大音量を測定し、ほかの点よりおよそ 4 dB 音量が上がったので、ここが焦点距離だと考えた。



- 油を用いたときに焦点距離で計測した音量と水を用いたときの音量の平均値には大きな差がないことから、油に反射や吸収の弊害が生じているのではないかと考えた。

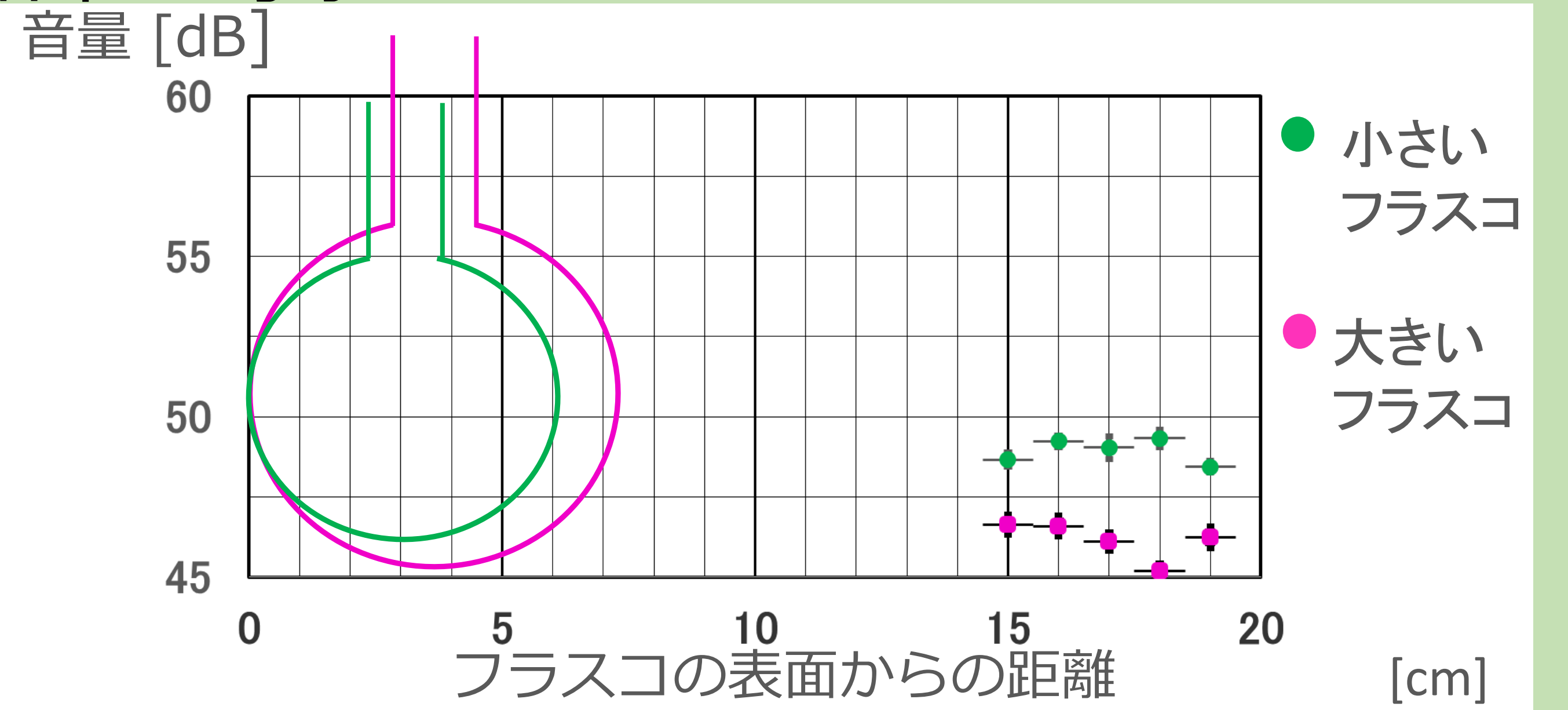
## 動機

イルカの頭部にあるメロンと呼ばれる脂肪組織は音を集音する働きがあることがわかっている。そこで私たちは、さまざまな油を用いて水中で集音することが可能な装置を製作し、水中での新たな集音装置の開発を目指している。

## 実験 II

目的 フラスコの表面での音の反射量を測定する。

結果と考察

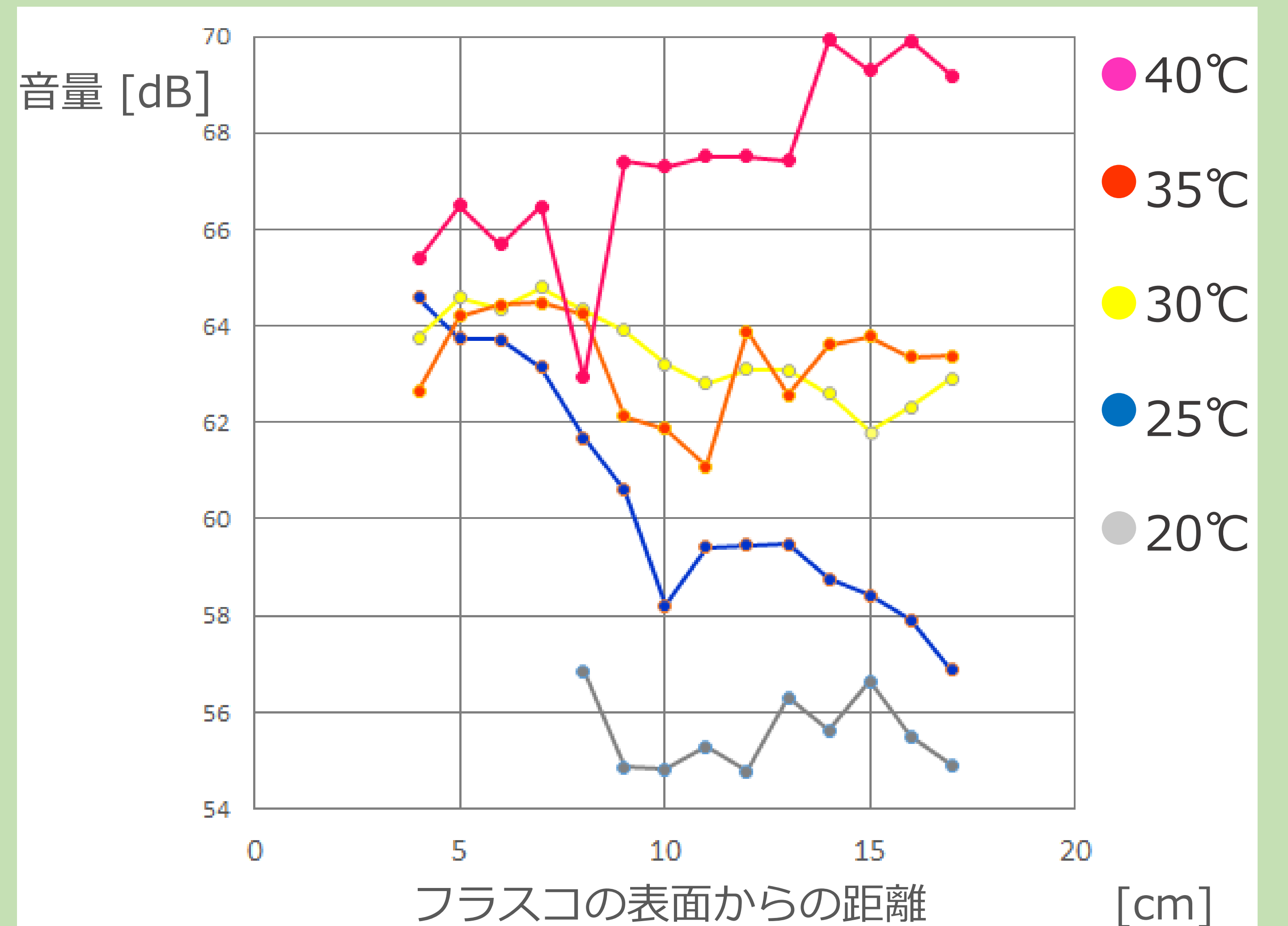


- 表面積が大きいフラスコを通して拾う音は、小さいフラスコよりも小さくなったので反射量が多いことがわかった。

## 実験 III

目的 温度の異なる条件下での音量を測定する。

結果と考察



- 温度が高くなるにつれ、全体的に音量が大きくなることがわかった。実験3では実験1・2より音波の振動数を小さくしたことが影響して、焦点が出来なかったのではないかと考えた。

## 今後の展望

- 油の種類を変える、油中の音速も考慮してみる。
- 表面での反射を防ぐため、フラスコではなく風船を用いる。

## 参考文献

- 赤松友成. 2007. イルカのハイパーセンサ: バイオメカニズム学会誌, 31巻3号134pp.+3pls.J-STAGE.
- 球面レンズの曲率半径と焦点距離(レンズメーカーの距離) 2018年10月2日更新 (最終閲覧日: 2019年7月23日) [http://fnorio.com/0169Lens\\_formula/Lens\\_formula.html](http://fnorio.com/0169Lens_formula/Lens_formula.html)
- 9.1材料音速一覧表. 2019年9月25日更新 (最終閲覧日: 2019年7月24日) <https://www.olympus-ims.com/ja/ndt-tutorials/thickness-gage/appendices-velocities/>



## 事例④ ビスマス極板を用いた電気分解における色の変化と条件

### ●生徒の活動及び教師の支援や工夫

各過程	生徒の活動	教師の支援や工夫
気付き	<p>○先行研究の発表で感銘を受け、さらに研究したいと思った。再現実験で銀板とビスマス板の距離や極板の向きによる色の違いに興味をもった。</p> <p>先行研究の再現実験で課題を見つけたのだから、そのまま調べてみよう。</p>	<p>○生徒がもった課題を尊重し、その課題をもとに研究ができるように、可能な限り一緒に検討した。</p>
課題の設定	<p>(1)銀板とビスマス極板の距離による色の変化を調べた。 (2)銀板とビスマス極板の向きによる色の変化を調べた。</p>	<p>○教師もどんな仮説が立てられるか、または違った視点の課題はないか考えた。生徒が行きつまった時、課題を提案できるようにしておいた。</p>
仮説の設定	<p>○銀板とビスマス極板の距離や向きによって色の変化はあるのではないかな。</p>	<p>○課題の設定を受けて、仮説の方向性を確認した。</p>
検証計画の立案	<p>(1)ビスマスと銀板を垂直に設置した。 ・約2×7.5cmの横長の板を使用した。 ・電圧を5Vから2.5Vずつ変化させ、秒数を5秒から60秒まで5秒ずつ変化させて実験を行う。 (2)ビスマスと銀板を平行に設置した。 ・電圧と秒数を実験1と同様に操作した。</p>	<p>○実験が安全に行われているか、実験操作が目的に沿ったものになっているかを確認しながら指導した。廃液の処理についての確認も行った。</p>
実験・結果の処理	<p>(1)同じ電圧に注目すると色の変化がグラデーションになっていることから、秒数が増すとともに銀板に近い方から酸化被膜の厚さが変化していることが分かった。また、秒数を重ねると色の変化が小さくなった。 (2)実験1と同様の変化が起きた。しかし、実験1に比べ、酸化被膜の色の変化が遅いことが分かった。</p> <p>陽極酸化処理の際の電流の変化は、どうだったかな？ 電流が変化しているとき、ビスマス電極表面の色の変化はどうだった？</p>	<p>○まずは、生徒たちでデータのまとめ方を工夫させ、その方向が、目的とそれいきそうな場合は、アドバイスを行う。</p>
分析考察推論	<p>○先行研究では、黄→橙→紫→青→緑の順に酸化被膜が厚くなっていくことが推測された。よって、実験結果より銀板からの距離が近い方が、酸化被膜が厚いと推測した。また、極板の向きにより違いが見られたのは、極板間のイオンの流れによる違いなのではないかと考えた。さらに、秒数を重ねると表面が酸化ビスマスによって覆われてビスマスイオンが溶け出しにくくなり、酸化ビスマスができなくなったと考えた。 ○これらより、ビスマスの酸化被膜を調べることにし、ビスマスは電極同士の適切な距離を測る指標として利用できるのではないかと考えた。</p>	<p>○理論に基づいて考察がなされているか確認するよう心がけた。また、生徒の後ろに指導教員がおり、前面に出ないように、生徒の口から考察に関する見解が出るようにアドバイスした。</p> <p>色の変化の違いを定量化できるように、RGB値にしてみよう。</p>
表現伝達	<p>○9月 千葉大学でポスターによる発表 ○11月 千葉県高文連自然科学専門部主催の科学研究発表会で、スライドによる発表</p>	<p>○どの点を発表するのかを生徒に考えさせ、メインとなる内容についてポスターやプレゼンテーションソフトにまとめるようにアドバイスした。</p>
新たな展開	<p>○9月発表の教授によるアドバイスから、考えてみる。</p>	<p>○生徒たちと話をし、各種アドバイスの意味を理解できているかを確認した。</p>
課題の設定	<p>○溶液を攪拌する速さと色の変化の関係について調べる。 ○色の変化と電流の関係について調べる。</p>	
仮説の設定	<p>○溶液を攪拌する速さによって色の変化があるのではないかな。 ○電流の大きさの変化によって色の変化があるのではないかな。</p>	<p>○生徒と次の課題の話をして、行う実験の目的や結果を予想させた。</p>
検証計画の立案	<p>(3)電流の大きさを変化させ検証計画1と同じ実験を行った。 (4)溶液を攪拌する速さを変化させて検証計画1と同じ実験を行った。</p>	<p>○実験が安全に行われているか、実験操作が目的に沿ったものになっているかを確認しながら指導した。廃液の処理についての確認も行った。</p>
実験・結果の処理	<p>(3)電流の大きさの違いによってもビスマス表面の色や電流の流れる時間にも変化が見られた。 (4)溶液を攪拌する速さを三段階調整して実験を行った結果、攪拌の速さが速い方がビスマス電極表面の変化が速くなることがわかってきた。</p>	<p>○結果のまとめ方が、自分本位になっていないか、第三者にわかりやすく伝えるものになっているかを確認した。</p>
分析考察推論	<p>○硫酸を攪拌させると反応が早まることから、ビスマス極板を用いることにより確認された。これらにより、ビスマスの酸化被膜を調べることにし、ビスマスは電気分解や電池の実験において、電極同士の適切な距離や、色を利用した電流を測る指標として利用できるのではないかと考えた。</p> <p>溶液の攪拌速度を3段階で変化させたとき、攪拌速度とビスマス表面の色の变化を数値化できないか。攪拌速度の最適な回転数や溶液温度との関係は？</p>	<p>○実験を行った際には、その様子を写真にとり、実験ノートへの記入とともに、画像データも残しておくように指導した。</p>
表現伝達	<p>○都立戸山高校でポスター発表(参加) ○東京工業大学でポスター発表(大会中止) ○校内SSH・SGH合同発表会(中止) ○千葉県課題研究発表会(中止)</p>	<p>発表や論文の作成などを通して、新たな視点で疑問を見つけよう。</p>

# ビスマス極板を用いた電気分解における色の変化と条件



千葉県立佐倉高等学校



## 【動機】

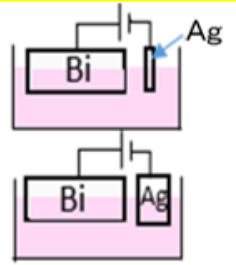
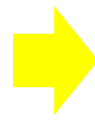
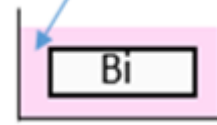
先行研究では電圧と秒数を変化させることによりビスマスの酸化被膜の色を操作していた。しかしビスマス板の表裏で色に違いが見られたことから、銀板とビスマス板の距離に注目して実験を行った。また、銀板との向きにも注目した。

## 【目的】

- ・ 銀板とビスマス板の距離、向きによる色の変化を調べる。
- ・ 硫酸を攪拌した時の色の変化を調べる。

## 【基本操作】

$H_2SO_4$ aq1.5mol/L



ビスマスの酸化被膜を落とす

0.015mol/Lの硫酸で陽極酸化処理を行う

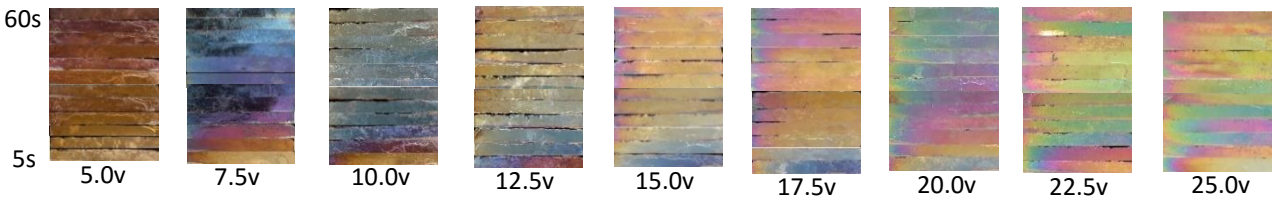
## 【実験Ⅰ】ビスマスと銀板の向きによる違いを調べる

電圧を5Vから25Vまでを2.5Vずつ変化させ、秒数を5秒から60秒までを5秒ずつ変化させて実験を行った

### 【結果】

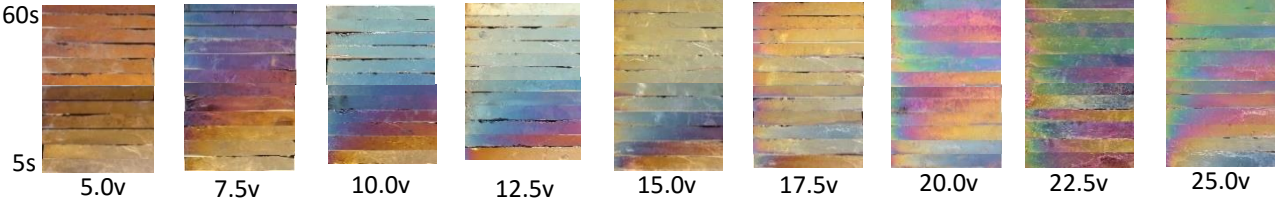
#### ① 垂直に設置する

近い 遠い



#### ② 平行に設置する

近い 遠い



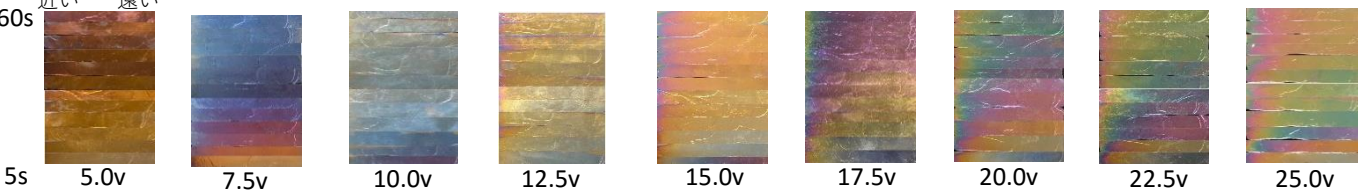
## 【実験Ⅱ】硫酸を攪拌する

実験Ⅰの①の方法を用い、硫酸を2種類の速さで攪拌させ、実験を行った。

### 【結果】

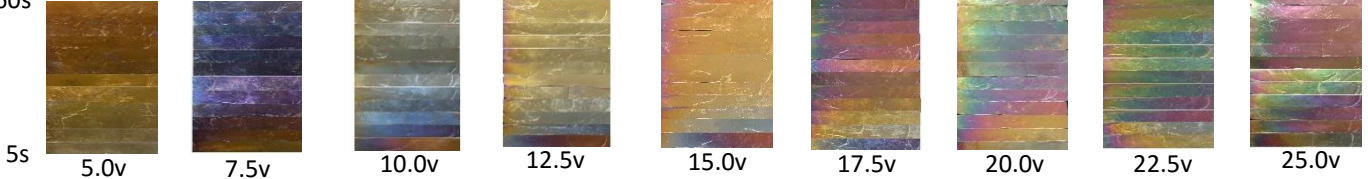
#### ① 攪拌速さ大

近い 遠い



#### ② 攪拌速さ小

近い 遠い



## 【考察】

先行研究では、黄→橙→紫→青→緑の順に酸化被膜が厚くなっていくことが推測された。よって実験結果より銀板からの距離が近いほうが酸化被膜が厚いことが推測される。また、極板の向きにより違いが見られたのは、極板間のイオンの流れによる違いなのではないかと考えた。さらに、秒数を重ねると表面が酸化ビスマスによって覆われてビスマスイオンが溶けだしにくくなり、新たな酸化ビスマスができなくなったと考えた。硫酸を攪拌させると反応が速まることがビスマス極板を用いることにより確認された。これらより、ビスマスの酸化被膜を調べることで、ビスマスは電気分解や電池の実験において電極同士の適切な距離や、色を利用して電流を測る指標として利用できるのではないかと考えた。

## 【今後の展望】

- ・ 指標として活用する。
- ・ 容器の大きさ、形による色の変化を調べる。
- ・ 酸化被膜の表面構造がどのようになっているのか調べる。

## 【参考文献】

- ・ セオドア・グレイ(2010)「世界で一番美しい元素図鑑」創元社192、193ページ
- ・ 平成30年度佐倉高校課題研究 篠崎美月 松永祐奈 里見里奈「ファンタスティック・ビスマス！」
- ・ 高木誠司「定性分析化学 中巻・イオン反応編」南江堂 50～60ページ



## 事例⑤ 千葉県南西部における約 50 万年間のアサリの形の違い

### ●生徒の活動及び教師の支援や工夫

各過程	生徒の活動	教師の支援や工夫
気づき	○1年次の冬休みに、大和田のアサリ（化石）を採集した。現生のもとと比べようとしたが、冬で東京湾産がなく、熊本産をスーパーで購入し比較したところ、化石の方が細長く扁平であることが分かった。	○予備調査の引率 ○生徒と対話形式で、発問をしながら課題を整理する。
課題の設定	○現生の東京湾のアサリと、古東京湾のいくつかの年代のアサリの形を比較する。 ・現生 金田標本 ・約12万年前 谷当標本 ・約30万年前 大和田標本 ・約50万年前 万田野標本	○実施可能なもので、検証可能な課題を設定させる。
仮説の設定	○化石（大和田標本）と現生（金田標本）では、形が違うのではないかと。 ○大和田標本はキオロニアサリ型のアサリではないかと。 ○寒い地域のアサリは、キオロニアサリ型ではないかと。	○根拠をもとに仮説を設定させる。
検証計画の立案	○貝殻の殻長・殻高・殻幅を計測し、金田標本と大和田標本、大和田標本と谷当標本（＝キオロニアサリ型とされる）、大和田標本（寒い地域のアサリ）と万田野標本について、それぞれ比較をする。 (1)計測（殻長・殻高・殻幅をノギスで測定） (2)グラフ（殻高と殻長、殻幅と殻長の散布図、殻高/殻長、殻幅/殻長比の散布図） (3)統計（F検定：分散に差があるか、t検定：分散をもとに平均に差があるか）	○標本数を増やす前に見直しをもたせるために検定まで指導する。
実験・結果の処理	○殻長・殻高比の散布図では、大和田標本が細長く扁平な方に分布した。t検定により、現生の金田標本とは形に違いがあるといえる。 ○t検定で、殻高、殻幅とも平均値に差がない可能性がある。 ○比の散布図では、大和田標本と重なる部分もあるが広く分布。	○検証方法として、数学教員がヒストグラムや正規確率プロット、F検定、t検定について紹介し、指導した。
分析考察推論	○化石（大和田標本）は、現生（金田標本）と比べて細長く扁平である。大和田標本のアサリは下総層群から報告されているキオロニアサリ型のアサリと似ている。 ○大和田標本は、キオロニアサリ型のアサリである可能性が高い。大和田標本は、現在の東京湾より寒い地域で貝類とともに産出するので、寒い地域のアサリは、キオロニアサリ型のアサリではないかと。 ○万田野標本は、キオロニアサリ型の細長く扁平なアサリだけでなく、短く厚い個体も産出したため、アサリの形は温度だけでなく、他の要因があると推定される。	○結果をもとに仮説を検証させる。仮説通りになることに固執させない。 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;">標本同士で共通する特徴を探してまとめてみよう。化石だけでなく、文献や現生のデータと比較してみよう。</div>
表現伝達	○千葉大学ポスター発表 テーマ「千葉県南西部における約50万年間のアサリの形の変化」	○発表会での研究者や指導者の質問や助言をまとめて振り返りにつなげる。
新たな展開	○古東京湾の環境変化とアサリの形の変化の関係を詳しく研究する。 ○標本数を増やしたい。統計上、100個体は欲しい。	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;">新しい課題が出てくるのは、研究に将来性がある。</div>
気づき	○標本数を増やし、アサリの形の比較を行う。博物館の標本を計測したものは、現地や別の産地の調査を行い、化石の産出状況や堆積環境と合わせてデータを得る。	○1サイクル目の発表の再検証
課題の設定	○アサリ化石が産出する堆積環境を現地調査や共産する化石で調べる。 ・キオロニアサリ型のアサリ → 約12万年前 成田標本 ・約50万年前の多様な形のアサリ → 約50万年前 万田野標本	○実施可能なもので、検証可能な課題を設定させる。
仮説の設定	○大和田標本と金田標本を、標本数を増やして比較すると、やはり違う。 ○万田野標本と他の産地の標本を比較して、形の違いは種類の違いではないかと。 ○大和田標本は成田標本と比較して、キオロニアサリ型のアサリではないかと。	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;">標本を実際に観察したことを大切に、仮説を設定してみよう。</div>
検証計画の立案	○それぞれの標本数を増やし、大和田標本と金田標本、金田標本と大和田標本と万田野標本、大和田標本と成田標本を比較し、形の違いについてそれぞれ再度検証する。 ○アサリと共産する化石や地層の特徴をもとに、地層の堆積環境を推定して、形との関連を考察する。	○標本数や数値にのみ目が向かないようにデータの再検証や、現地調査の意義を説明する。 ○博物館や研究機関と連携して、現地調査や研究者と議論する機会をつくる。 ○関連する文献を紹介する。
実験・結果の処理	○散布図では、重なりがあるが大和田標本の方が金田標本より左下に分布。F検定、t検定により有意差有り。 ○散布図では、万田野標本は他の標本より広く分布。 ○散布図では、成田標本が大和田標本よりも左下に分布しているが、重なっている部分もある。F検定、t検定の結果、有意差有り。 ○堆積した環境は大和田・成田標本で近く、万田野では様々な環境が推定される。	○データによる散布図の表現方法を指導した。 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;">仮説と違う結果が出ることもある。先入観をもたず、その理由を考えよう。</div>
分析考察推論	○千葉県南西部のアサリの形の、時代によるばらつきの原因としては、遺伝的要因と環境的要因が考えられるが・・・。 ○大和田標本と成田標本では、t検定の結果有意差があり、同じ集団とは言えなかった。文献研究の結果ともあわせ、遺伝的要因（種類の違い）ではないと考えられる。 ○環境的要因としては、温度は影響せず、流れの強さや堆積環境の多様性が考えられる。金田→大和田→成田の順に流れは強くなり、散布図では左下に分布がずれていく。 ○一方、万田野では、前浜から外浜の多様な環境で堆積しているために、形も様々なのではないかと。現生種でも環境と形の関連を示す事例が出ている。	○結果だけでなく、他の観察結果や文献調査を組み合わせる総合的に理由を追究させる。 ○考察の段階で悩むことも多いため、結果を比較し、共通することや異なることを整理させながら考えさせる。
表現伝達	○日本古生物学会2020年例会 テーマ「千葉県南西部における約50万年間のアサリの形の違い」	○発表会での研究者や指導者の質問や助言をまとめて振り返りにつなげる。
新たな展開	○本当に同種のアサリであるかを検証するために、放射炭素の数を数えて比較する。 ○アサリの成長段階による、形の違いがあるかを検証する。	

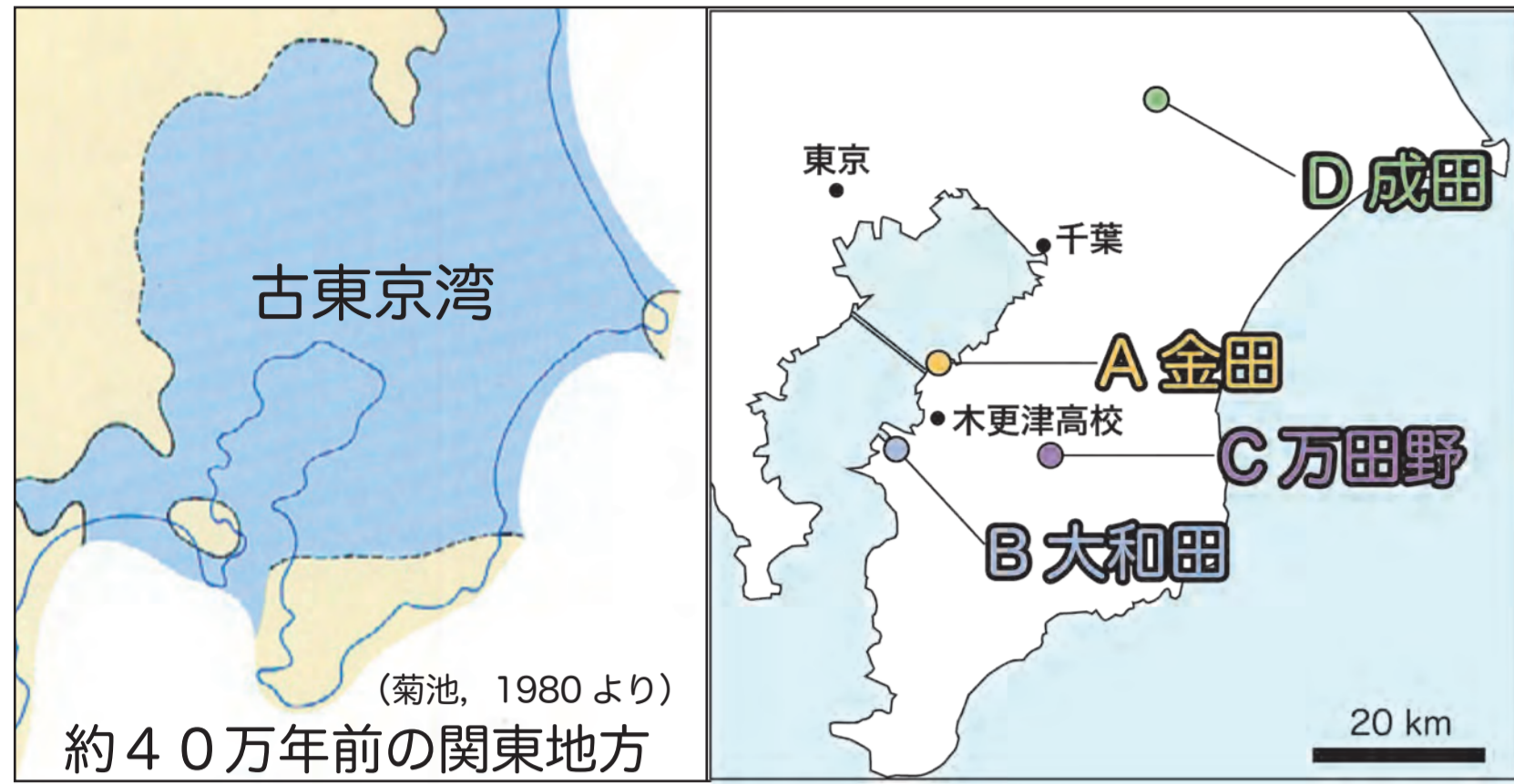


# 千葉県南西部における約 50 万年間のアサリの形の違い

千葉県立木更津高等学校

## はじめに

約 10 万年前より前の東京湾は、古東京湾とよばれており、広い海だった。約 30 万年前の古東京湾で堆積した地層が学校近くにあり、調査したところ、アサリ化石が多産した。採集した化石を市販の熊本県産のアサリと比較した結果、化石の方が細長く、扁平であることがわかった。そこで、千葉県南西部において東京湾の現生のアサリや、ほかの時代のアサリ化石と形を比較した。



## 方法



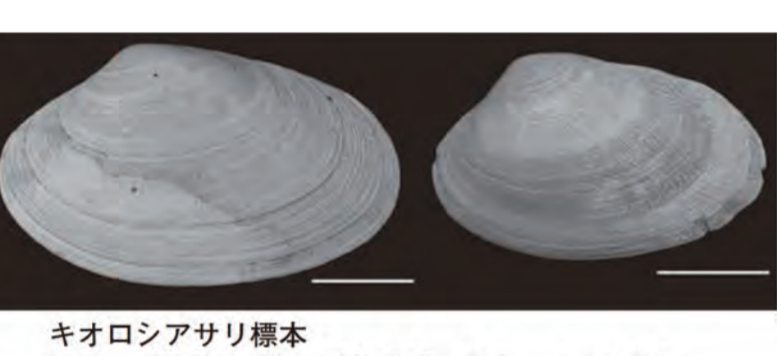
- 千葉県南西部の 3 地域のアサリを採集。
- キオロシアサリとの比較のため成田市からも採集。
- 各標本の殻長、殻高、殻幅をノギスで計測。
- 殻高 / 殻長比、殻幅 / 殻長比の散布図を作成。
- 殻高 / 殻長比は、ヒストグラムと正規確率プロットで、正規分布を確認した。
- 集団標本どうしの比較のために、Microsoft Excel で F 検定と t 検定を行った。

アサリ *Ruditapes philippinarum* の特徴 (奥谷, 2000 より)



- 外形は卵型で、やや薄い殻質
- 殻表は放射肋と成長線で粗い布目状の模様
- 内面は平滑で、套線湾入はやや浅く丸い

キオロシアサリ *Ruditapes variegata kioroshiensis* の特徴 (有馬ほか, 2017 より)

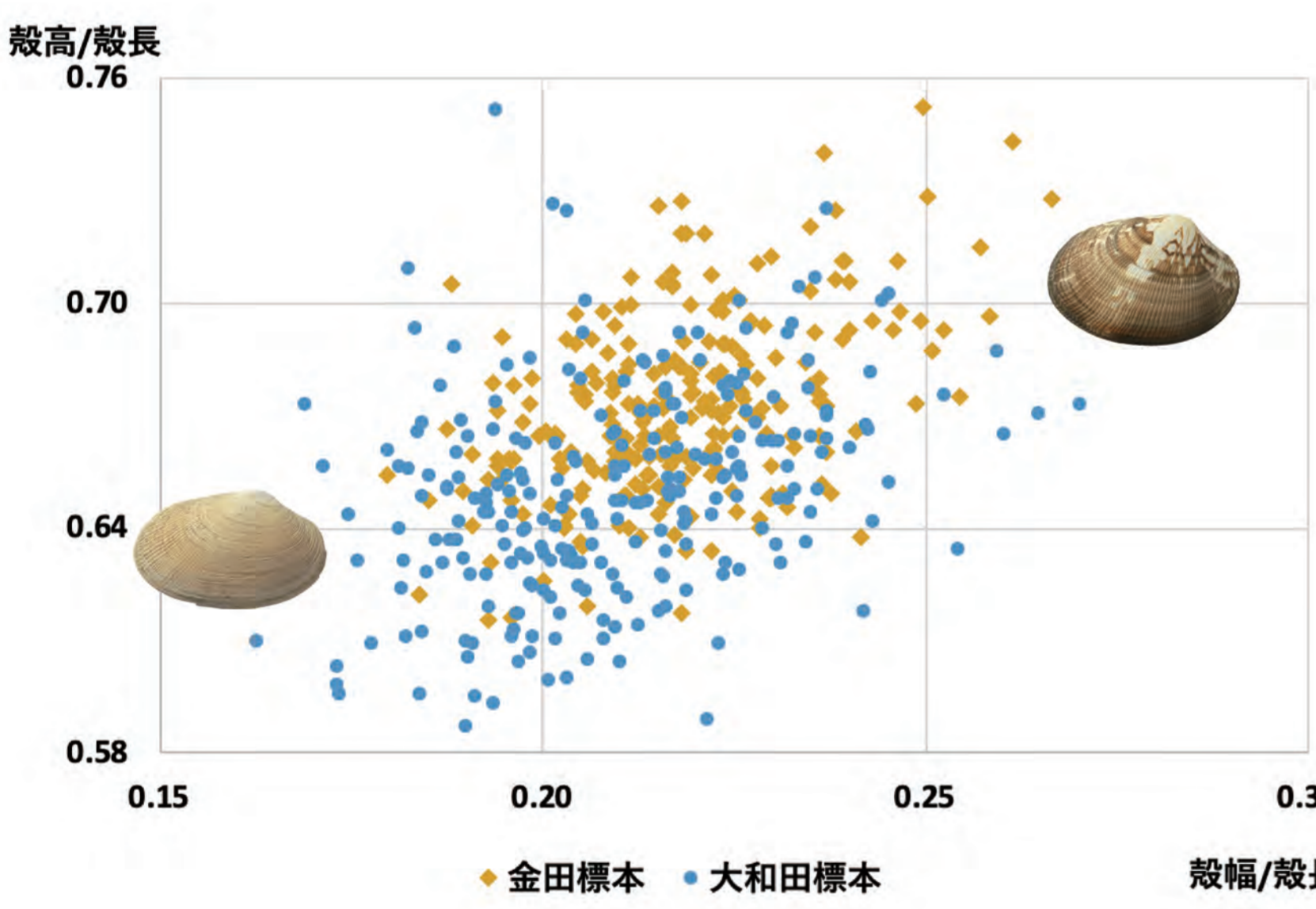


- 細長い形状
- 細かい放射肋、成長線
- 深い套線湾入
- 寒流系外洋性海岸の汀線付近に生息

## 結果

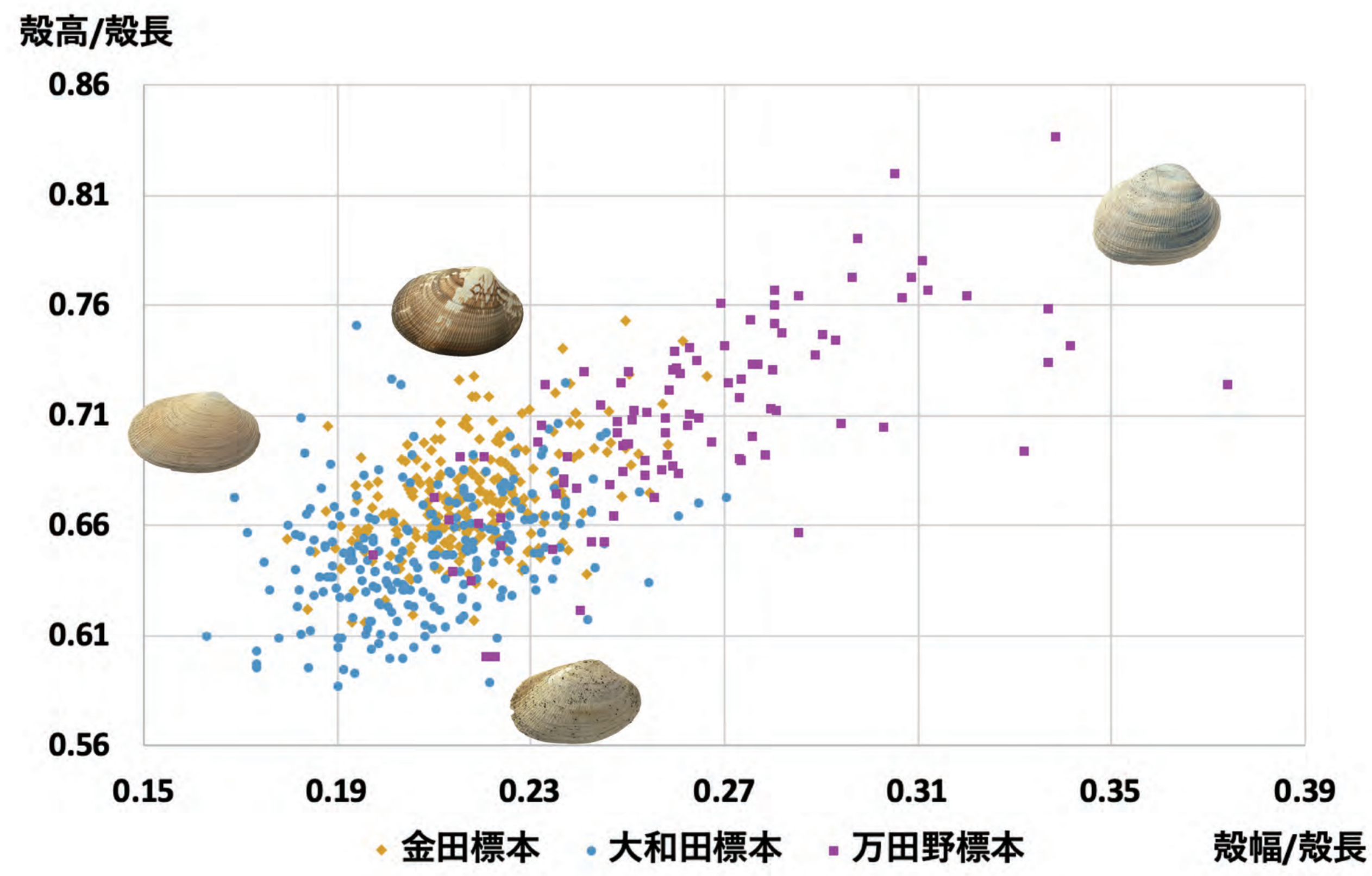
○ヒストグラムは一峰型で、正規確率プロットでは直線状に分布 → 各地域の集団標本は正規分布と判断

### 1 金田標本と大和田標本の比較



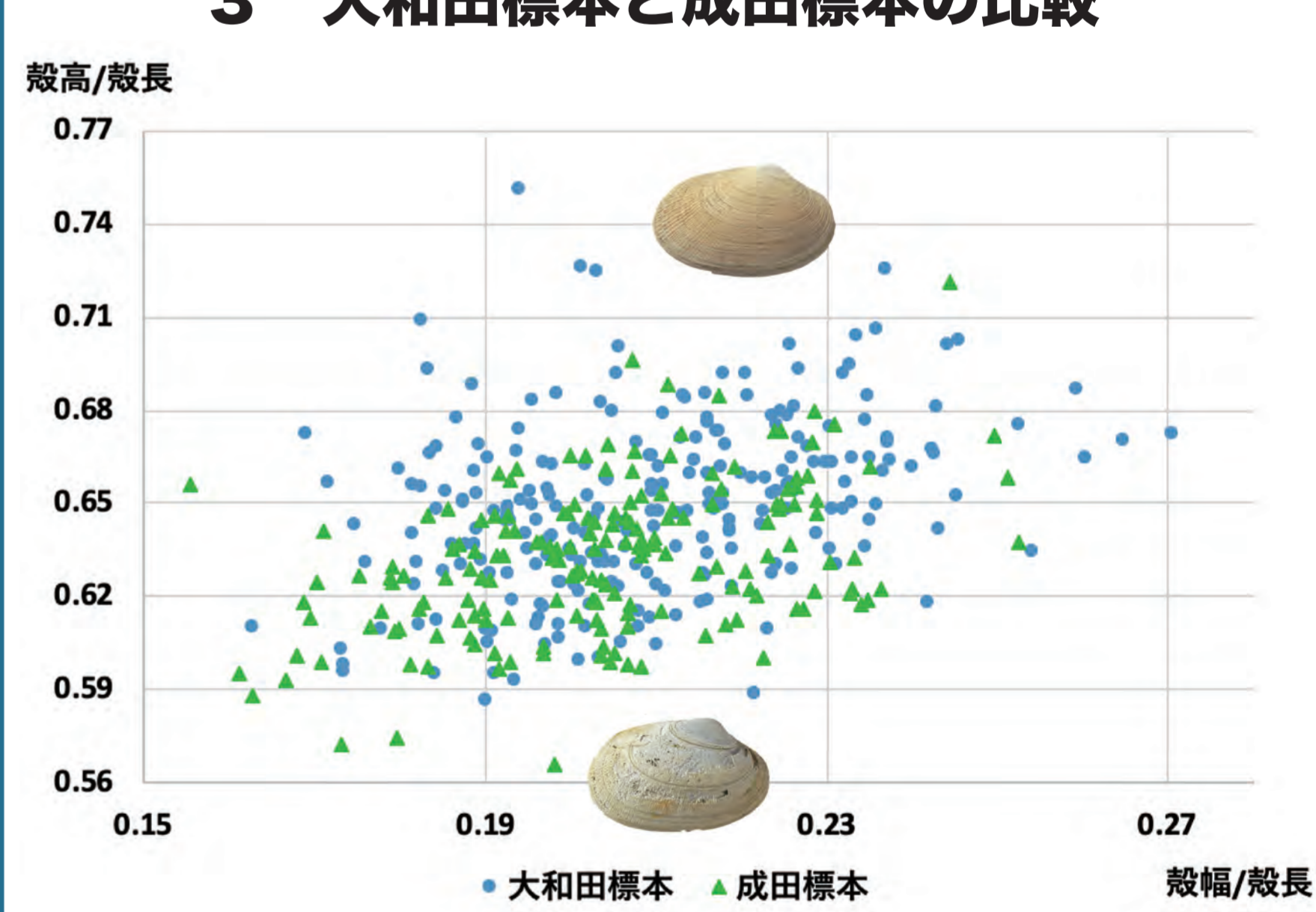
- 散布図で重なりがあるが、大和田標本の方が左下に分布。
- 大和田標本は細長く扁平な個体が多い。
- 殻高 / 殻長比の F 検定:  
5% 有意水準で  $P(T \leq f)$  片側  $0.013 < 0.025$   
→ 2 つの母集合の分散に有意差がある
- 分散が等しくないと仮定した t 検定:  
5% 有意水準で  $P(T \leq t)$  両側  $8.3 \times 10^{-21} < 0.05$   
→ 2 つの母集合の平均値に有意差がある

### 2 金田、大和田、万田野標本の比較



- 散布図では力出野標本は広く分布。
- 万田野標本にも、細長く扁平な個体がみられる。
- しかし、殻高と殻幅が大きく丸い個体も存在。
- 千葉県南西部のアサリは時代によって、形のばらつき方に違いがある。

### 3 大和田標本と成田標本の比較



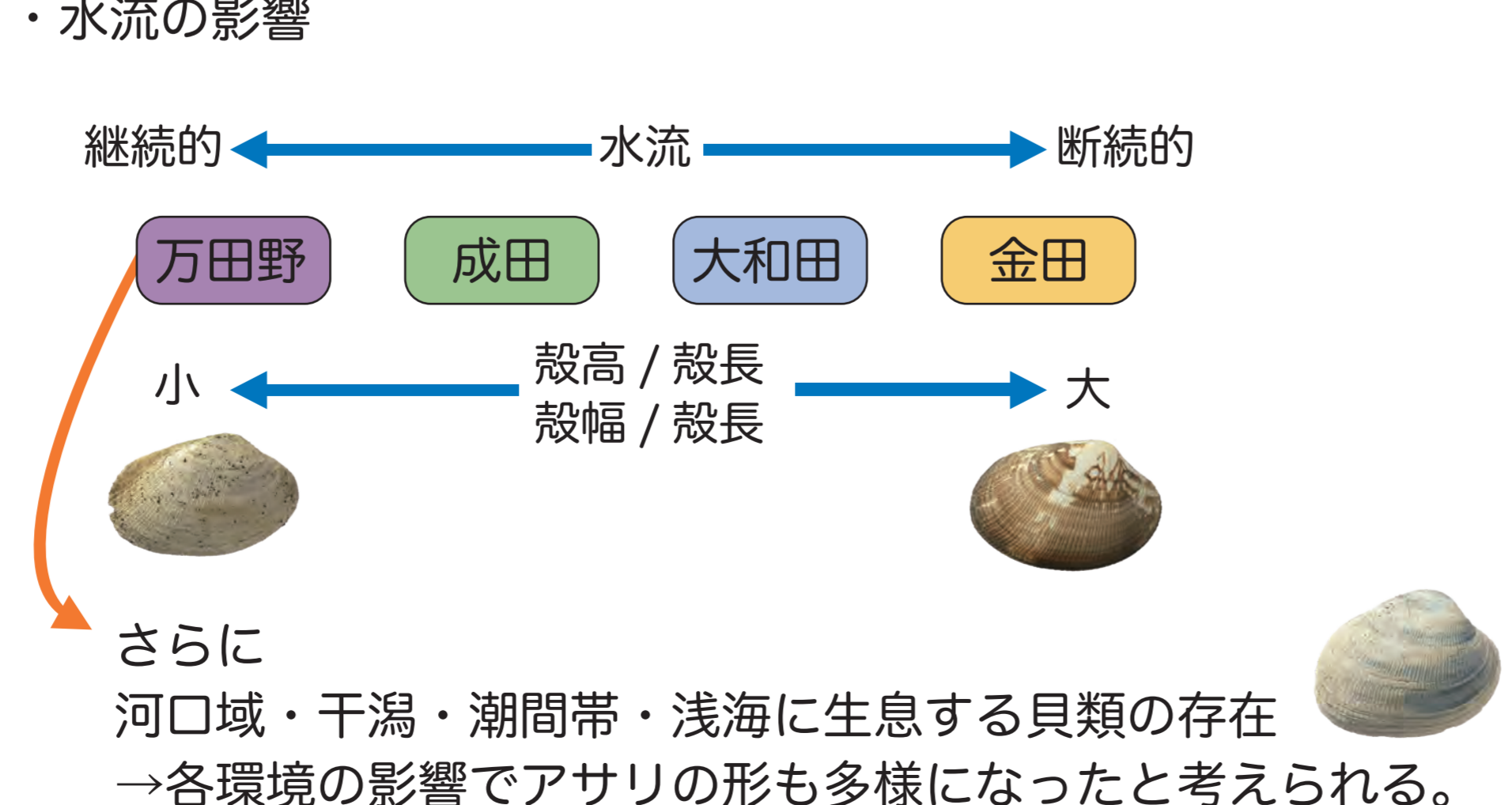
- 散布図では重なりがある。
- 大和田標本はキオロシアサリと同じ形の標本を含む。
- 殻高 / 殻長比の F 検定:  
5% 有意水準で  $P(T \leq f)$  片側  $0.018 < 0.025$   
→ 2 つの母集合の分散に有意差がある
- 分散が等しくないと仮定した t 検定:  
5% 有意水準で  $P(T \leq t)$  両側  $2.0 \times 10^{-11} < 0.05$   
→ 2 つの母集合の平均値に有意差がある

## 考察

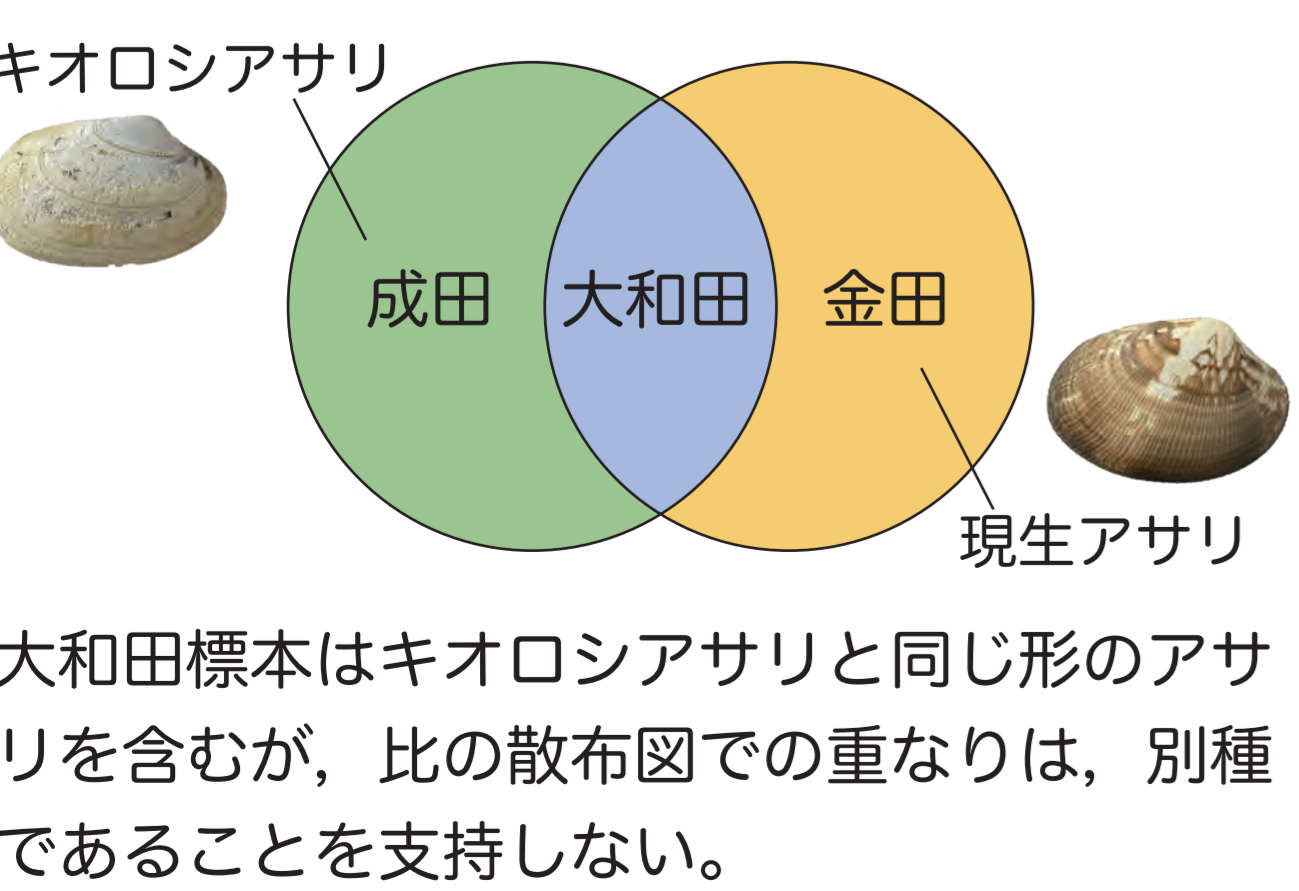
千葉県南西部のアサリにおける各時代の形のばらつき方の違い

### 環境的要因

各時代の集団標本の有意差 = アサリの生息環境の違い → それぞれ異なる影響を受けている可能性



### 遺伝的要因 = アサリの種類の違い



### 現生アサリの研究との比較

- 横川 (1998): 河口域から殻高・殻幅の大きいアサリを報告。  
→ 通常の形を示す内湾のアサリと遺伝的な分化は認められない。  
→ 複数の研究例から生育に厳しい環境条件で丸型化すると推定。



## まとめ

- 千葉県南西部のアサリは細長く扁平な形から、短く厚い形があり、現生、約 30 万年前、約 50 万年前で形のばらつき方に違いがある。
- 各時代でアサリと共産する貝類や、地層の様子が異なり、アサリの生息環境の違いが形のの違いに関係していると考えられる。
- 現段階では、水流の影響や、河川の影響がアサリの形に関係しているとみられ、今後、現生アサリの生息環境と形の関係を詳しく調べていく。

## 謝辞・参考文献

本研究にあたり、千葉県立中央博物館には化石標本の採集・観察・計測において、ご指導、ご協力いただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

- 有馬達也・林誠司・木村昭一 (2017): 青森県下北半島から見つかったキオロシアサリ型アサリの形態解析. 福井県自然史博物館研究報告, 第 64 号, 69-72.
- 千葉県 (1997): 千葉県の自然誌, 本編 2, 千葉県の大地. 823p, 千葉県.
- 菊地隆男 (1980): 関東堆積盆地-3 古東京湾. アーバンクボタ, No.18, 16-21.
- 奥谷喬司 (2000): 日本近海産貝類図鑑, 1173p, 東海大学出版会.
- 横川浩治 (1998): アサリの形態変化とその遺伝的特徴. VENU, Vol.57, No.2, 121-132.



## 事例⑥ 植物の維管束と肥大成長の関係を単位パイプモデルで考察する

### ●生徒の活動及び教師の支援や工夫

各過程	生徒の活動	教師の支援や工夫
気付き	○校舎の壁のひび割れが、すべて三又であることに気付いた。 この三又の分かれ方は葉脈に似ているのではないか。	○毎回の授業中や毎朝夕のHR、普段の会話の中で、生徒の興味・関心を喚起する話題を取り入れる。
課題の設定	○校舎のひび割れのでき方と同様、植物がつくる葉脈は、水を運ぶために合理的な形をしていると考えた。 ○葉脈を観察し、維管束の構造に疑問をもった。単位パイプモデルには末梢部についての記述がない。末梢部の維管束の走行に疑問をもった。 単位パイプモデル説（先行研究）の紹介、吸水の原理について講義。	○生徒の興味・関心を尊重しながら、生徒との議論で、教師が探究のテーマとして相応しい方向に導いた。 ○新発見を求めなくてもよい（既知の事象でも高校生にとっては探究のテーマになる）。
仮説の設定	○成長過程において、維管束が形成された後に新しい末梢組織が作られる、つまり葉や花といった末梢組織の数と道管数には相関があるはずだという仮説を立てた。	○常識にとらわれない自由な発想での徹底的な議論をさせるため、着想の足がかりを適切なタイミングで、提供する。
検証計画の立案	○食紅を溶かした水に植物を一晚浸け、ミクロトームで薄く切断し、断面を観察する。 ○観察1：アスパラガス（単子葉類）とブロッコリー（双子葉類）を用い、分枝部分の維管束の走行を観察する。 ○観察2：ブロッコリーの花柄で、花弁や雄しべと維管束数の関係を観察する。 ○観察3：肥大成長と維管束の新生の関係を調べるため、ツバキの葉脈やブロッコリーの維管束の細胞の配列を詳細に観察する。	○何をやるか、いつやるか、分担はどうするかなど、生徒同士での議論の時間を多く設けた。実験、観察において生徒から提案が出たらすぐに実行に移させた。やりたい気持ちがあるときにやることで研究が進む。
実験・結果の処理	○結果1：アスパラガスでは分枝ごとに維管束数が減少したが、ブロッコリーではほとんど変化がなかった。 ○結果2：花柄の維管束数と組織数とは関連しないように見えた。 ○結果3：ツバキの葉脈では、着色したのは下方の道管のみであった。また髄に古い木部と見られる痕跡を見つけた。	○データがはっきりしないこともあるが、わずかな差に意味があることもある。データを捨ててしまわないように、ノートに詳細に記録させた。
分析考察	○考察1・2：アスパラガスでは、分枝ごとに維管束ごと割り振られ、維管束数が減少する。ブロッコリーでは一つの維管束から道管が分離するため、維管束数が減少しなかったと考えられる。個々の道管は、根元から末梢部まで1本でつながる単位パイプ理論を支持する結果だった。 ○考察3：着色しなかった道管は現在使われておらず、肥大成長の際に新たな道管を追加していくと考えた。また、古い木部を髄に残した維管束と、そうでない維管束が混在していることは、肥大成長の際に維管束が新生される証拠であり、伸長成長した茎の上部の葉や花などの組織数は、この新生維管束の道管数に制限されると考えた。	○現在取り組んでいるテーマが「面白い」と思うことが何より大切である。時々は高校では学ばない知識や理論も提供しながら、どこが不思議で何がどのように面白いのかを研究段階に合わせて提示した。また、事実から離れた飛躍した思考を戒めながらも、一方で一定の根拠の範囲内で自由に考察するよう促した。
表現	○千葉大学ポスター発表 テーマ「植物の肥大成長と維管束の関係を単位パイプモデルで考察する」	○独善的な表現を避け、本研究の何が面白いのかを伝えるよう促した。
新たな展開	○園芸の目的の一つである、花や葉などを増やすため、この維管束（道管）の数をいかに増やすかが条件になると考えた。	○生徒の興味・関心から始まった研究と社会とのつながりを意識させる話をした。
気付き	○染色液を確実に吸わせて維管束内の道管数を計測しようと、ブロッコリーの末梢を一部切除し蒸散量を増やし、切断した枝に吸水を集中させた。試しに切断面にワセリンを塗布し蒸散を抑えてみたところ、それでもなお吸水が集中することに気付いた。	○生徒の素朴な質問に対して丁寧に答えることで、さらに興味・関心が深まっていく。
課題の設定	○末端の水が減らないと吸水は不可能なため、切断部分の水が周辺組織に移動すると思った。また、切断しワセリンを塗布したにも関わらず、切断しない枝より吸水が集中したことに疑問をもった。 道管から組織へ水が移動するいくつかの原理（アポプラスト伝達、シンプラスト伝達など）を講義。	○周辺分野の知識や先行研究を幅広く紹介し、柔軟な発想を促す。 ○先行研究について、実際に実験で確かめさせた。新たな気付きもある。
仮説の設定	○道管内の圧ポテンシャルの差を生み出す原因は蒸散とは限らない。1本の道管が複数の末梢組織を支えるならば、道管数と組織数は対応しなくても良いのではないか。	○自由な発想での徹底的な議論をさせるため、着想の足がかりを提供する。
検証計画の立案	○食紅を溶かした水にブロッコリーの茎を挿した。ワセリン塗布の有無や塗布の場所などの条件を替え、実験を行う。	○時間のかかる実験は必ず逆算させて実験開始時刻を設定させた。
実験・結果の処理	○切断した枝に多くの吸水、隣接するほかの枝の吸水の減少を確認。道管の壁孔を通した横方向への水の移動を確認。また、末梢部へ向かうにつれて、着色範囲が拡大。 ○全面にワセリンを塗布したが吸水していた。	○データ採取は研究の第一歩であり、採取精度向上に向けての理論学習と技術的訓練を積ませた。
分析考察	○吸水が、末梢部の水の移動や蒸散、蒸発による水の減少で起こるとすると、切断面付近の組織への水移動が、切断面を補修するため等による水消費が、基部において根圧に相当する吸い上げ力が道管内の水を押し上げたと考えた。結果は単位パイプモデル説を支持すること、道管の水輸送がかなり柔軟性をもつことを示した。根元から末梢まで1本の道管が水を供給しているが、枝を半分切り道管が切断されても、これに続く枝の道管へ切断されていない道管からの水移動があり、水の供給は確保される。	○データは必ず統計処理し、生データで議論させないよう注意した。またデータはあくまでもそのサンプルが示す固有のものであり、別の条件では異なる結果が得られる可能性があることに注意させた。
表現	○千葉県高文連科学研究発表会（口頭発表） テーマ「植物の道管の走行と吸水に関する考察」	○独善的な表現を避け、本研究の何が面白いのかを伝えるよう促した。
新たな展開	○水移動の原理を理解し効果を量的に把握する必要がある。例えば果実の肥大に伴う吸水の原理などを知りたいと思った。	○生徒の興味・関心から始まった研究と社会とのつながりを意識させる話をした。



# 植物の維管束と肥大成長の関係を 単位パイプモデルで考察する



千葉県立佐倉高等学校

## 要約

植物と維管束の関係について、単位パイプモデル説(吉良他, 1964)というものがある。これは、根から器官まで維管束、特に道管は枝分かれせず1本で繋がっているという考え方である。しかし、この先行研究は末梢部の詳細な観察をもとにした議論ではない。そこで私たちは、茎から末梢部までの維管束の走行を詳細に観察することで、維管束の全体像を明らかにした。その結果、維管束は根元から末梢部まで枝分かれせず1本でつながっていることが分かった。

## 考察

道管は根元から末梢部まで1本でつながっていることが分かった。  
また古い維管束の間に、新生したとみられる維管束が混在していることから、肥大成長時に新生される維管束数が生成される枝分かれの数を制限していると思われる。さらに、園芸の目的の1つである、花や葉などを増やすためにはこの維管束(さらにいうと道管)の数いかに増やすかが条件になると考えられる。

## 観察方法

### 使用した物

- ・マイクローム
- ・顕微鏡
- ・ツバキ
- ・ブロッコリー
- ・ルーペ
- ・食紅
- ・アスパラガス
- ・カミソリ

### 方法

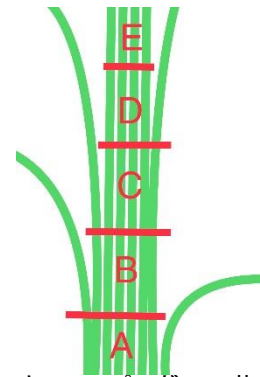
対象の植物を食紅を溶かした水につけ一晩漬けておく。マイクロームで薄く切断し、その断面をルーペや顕微鏡を通してカメラで撮影し、観察する。

### 観察1

単位パイプモデル説について、茎から末梢部までの道管の走行を詳細に観察するため、アスパラガスの茎、ブロッコリーの茎と末梢部において維管束の分岐が疑われるところを切断し、維管束の様子を観察する。

### 観察2

肥大成長の際に新たな維管束を分裂組織が作り出しているか調べるために、食紅を吸わせたツバキの葉脈断面と、ブロッコリーの茎断面を観察する。



## 観察1の結果

アスパラガス、ブロッコリーの茎では、分枝ごとに維管束が減っていることが確認できた。特にアスパラガスでは一定数ずつ減っていることが確認できた。

一方、ブロッコリーの末梢部では、維管束数がほとんど変化しなかった。

右図はアスパラガスを縦に切ったものである。図の分枝部分の様子から、維管束は分枝時に枝分かれしないことがわかった。



図1

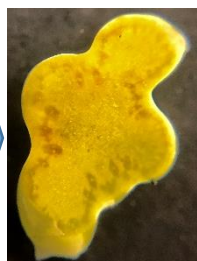


図2

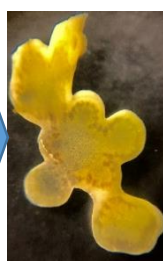
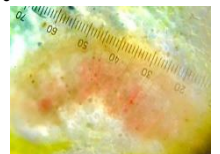


図3

## 観察2の結果

ツバキの葉脈の断面の観察の結果、食紅で染まっている道管と染まっていない道管があり、染まっている道管は使われている道管で、染まっていない道管が使われていない道管だと分かった。

その結果、肥大成長の際に新たな維管束を分裂組織が作り出していると考えられる。



ブロッコリーの茎の断面の観察の結果、古い木部を髓に残した維管束と、新たに作られた維管束が混在していることが分かった。これは、肥大成長の際に維管束の新生があり、伸長成長した茎の上部において生じる分枝の

数は、この維管束数によって制限されていることを意味する。左にある図2で確認できる。

## 参考文献

K. Shinozaki, K. Yoda, K. Hozumi, and T. Kira 1964: A quantitative analysis of plant form-the pipe model theory.



## 事例⑦ ビスマスの結晶を思い通りの大きさに作るにはどうしたらよいか

### ●生徒の活動及び教師の支援や工夫

各過程	生徒の活動	教師の支援や工夫
気づき	○結晶には様々な形や大きさがあるが、金属ビスマスの骸晶は、独特の形と色をもっていることに気付いた。	○生徒が雪の結晶について興味をもっていたので、自分で結晶を作ることを勧めた。
課題の設定	○ビスマスの結晶を作る動画がネット上にあり、比較的簡単に骸晶が作れることがわかった。ただし、それらは大きな固まりになっているので、指輪に乗せられる程度の大きさにできないかと考えた。	○ビスマスの骸晶が手に入ったので、ネット上の文献や映像を確認させ、作り方を学ばせた。その後、自分の興味関心に基づく課題を設定させた。
仮説の設定	○冷却するときの温度を正確に測定することで、思い通りの大きさの結晶を取り出せるのではないかと考えた。	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; border-radius: 10px;">                     目的の大きさにするためには、どのような条件が必要なのかを考えよう。                 </div>
検証計画の立案	○市販のビスマスチップ 300g をステンレスカップに入れ、携帯ガスコンロで加熱し、融解させた。 ○放射温度計を使って冷却時の温度変化をチェックしながら、ビスマスの融点を過ぎたあたりで結晶を取り出す。	○安全を第一に考え、1回に使用するビスマスの重量はカップの大きさを考慮して決めさせた。 ○融解中は高温になるため、やけどに注意させた。
実験・結果の処理	○ビスマスの融点 (271℃) では結晶化が速くならず、さらに冷却が進んでから一気に結晶化した。結晶が何℃で始まるかを把握することはできなかった。その結果、ステンレスカップの下部に大きな固まりとして結晶化する結果となった。	○実験は3回以上行って、再現性について確認させた。
分析考察推論	○準備した放射温度計 (-60~760℃対応) では、正確な温度が測定できないため、結晶の大きさを制御することができなかった。まず、結晶化が始まる正確な温度の測定が必要であると考えた。	○現状で、目的の大きさにできない原因を考えさせた。  <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; border-radius: 10px;">                     うまくできなかった原因をよく考え、改善策を立てよう。                 </div>
表現伝達	○校内中間発表会にて、これまでの実験結果を報告した。	○生徒同士で自由な意見交換を促した。発表を見学した教員からも、質問やアドバイスをもらった。
新たな展開	○新たにサーミスタ温度計 (-50~300℃対応) を用意し、冷却の温度変化を正確に測定することにした。	○融解したビスマスの液体に直接挿入するタイプの温度計を使い、正確な温度を測定してはどうかと提案した。
気づき	○結晶化が始まる温度を正確に測ることと、カップの底面に大きな固まりになることを防ぐことが新たな課題になる。	○正確な温度を測定することが大切であることを、繰り返し助言した。
課題の設定	○引き続き、大きさ 1cm 程度のビスマス結晶を作ることを目的とする。	○当初の課題が解決できるように、話し合った。
仮説の設定	○適切な温度で、融解したビスマス液体の表面に種結晶を加え、それを成長させることで目的の大きさにすることができるのではないだろうか。	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; border-radius: 10px;">                     ミウバンの結晶作りでは、種結晶を利用している。                 </div>
検証計画の立案	○ビスマスが凝固する際の温度変化を丁寧に測定する。得られた冷却曲線から、種結晶を入れるタイミングを決める。結晶の成長をよく観察し、1cm 程度の大きさになったら取り出す。	○冷却曲線と温度の変化の記録を取るよう助言した。
実験・結果の処理	○冷却曲線と温度の関係から、ビスマスの凝固においては過冷却状態になることが確認できた。よって、ビスマスの凝固点 271℃以下に下がったらすぐに種結晶を入れて、それが徐々に成長するのを見ながら、1cm 程度の大きさで取り出した。	○温度変化の記録は、友人に手伝ってもらうように助言した。
分析考察推論	○種結晶は4個入れ、それぞれが 1~2cm 程度の大きさで取り出すことができた。種結晶はビスマス液体の表面にとどまるので、カップ底面のような大きな固まりにならずに回収できた。 ○底面にできた結晶は虹色であることが多かったが、今回の方法で得られた結晶は、金色であった。	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; border-radius: 10px;">                     うまいかなかった実験についても、その状況や失敗した理由、工夫改善したことなども含めて、最終発表に向けて記録を残そう。                 </div>
表現伝達	○校内最終発表会にてポスター発表報告を行った。	○助言や助力には、感謝を伝えるように指導した。

# ビスマスの結晶を思い通りの大きさに作るにはどうしたらよいか

千葉県立鎌ヶ谷西高等学校

## 1. はじめに

水であれば雪の結晶、食塩であれば立方体というように、物質には特有の結晶構造がある。その中で、特に金属のビスマスが作る骸晶（がいしょう）は、人工的な建築物のような奇妙な形をしている。作り方は、インターネットでも配信されていて、とても簡単そうに見えた。さらに、ビスマスの結晶に魅力を感じたのはその色で、やや青みがかった七色をしていることが多く、宝石のようにも見えた。

そこで、指輪に乗せる程度の大きさの結晶をつくらうと思った。

## 2. 実験1

- ① 市販のビスマスのチップ約 300g を計り取り、ステンレスカップに入れ、携帯ガスコンロ上で加熱し、融解させた。
- ② 加熱中に、表面にできたビスマスの酸化物を薬さじで除去した。
- ③ 完全に融解させた後、火を止めて冷却した。このとき、放射温度計（非接触型）でビスマスの凝固点（271°C）を過ぎたら、結晶を取り出すつもりであった。

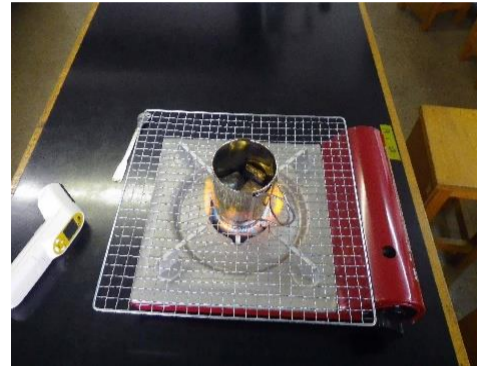


図1 加熱の様子

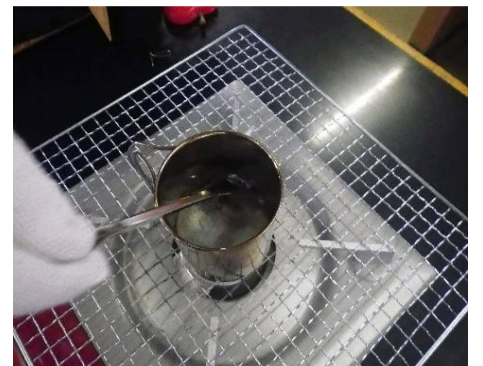


図2 表面の酸化物を取り除く様子

## 3. 実験1の結果

- 完全に融解したときの温度は 400°C を超えていた。火を止めた後は温度が低下してきたが、温度計の値が上下にばらついてしまった。
- 凝固は急激に進み、一気にステンレスカップの底に大きな固まりとして析出した。
- 固まりの一部分は、骸晶の形を形成していた。また、様々な色が混ざり七色の光沢があった。
- 3回繰り返したが、どれも同じような結果だった。

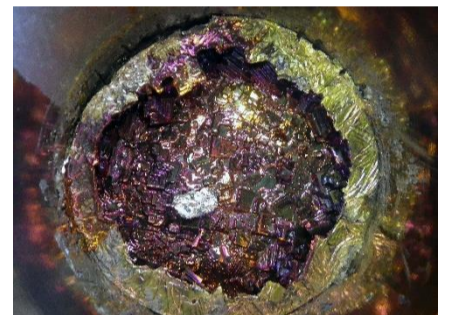


図3 カップの底にできた固まり

## 4. 実験2

- ④ 使用する温度計を、サーミスタ温度計（液体に浸すタイプ）に替え、冷却の際の温度変化を正確に測定した。
- ⑤ 温度が 271°C まで下がったと同時に、ビスマスの種結晶を数粒表面に落とした。種結晶は、大きな固まりを金槌でたたいて用意した。
- ⑥ 種結晶が成長して 1~2 cm になったところで、ピンセットで引き上げた。

## 5. 実験2の結果

- 温度計を替えたことで、より正確に温度が測定できた（右図参照）。
- 右図の冷却曲線により、ビスマスの凝固においては、過冷却状態に達することが確認できた。
- ビスマスの種結晶を入れると、徐々に結晶が成長しているのが見え、およそ 1~2 cm の大きさで取り出すことができた。
- 取り出された結晶の色は、金色になっていた。

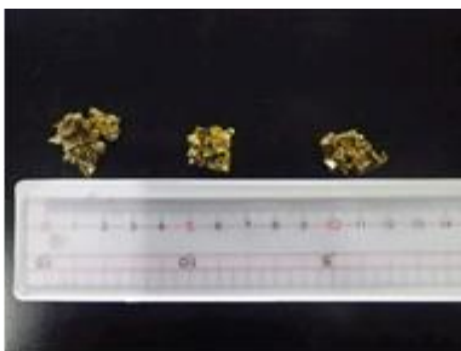


図5 できた骸晶

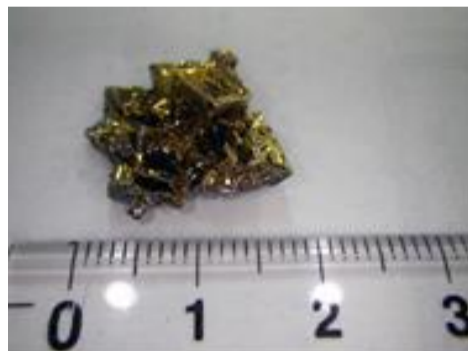


図6 骸晶を拡大した様子

## 6. 実験の考察

- 結晶を作る際は、温度を正確に測定することが大切だとわかった。
- 過冷却状態から結晶ができるときは、一気に結晶化してしまうので、種結晶を入れる方法で目的の大きさの結晶にすることができた。
- 上の冷却曲線の形状から、放熱の方法が急すぎる可能性がある。冷却をもっとゆっくり行うことでさらに結晶の大きさを制御できるのではないかとと思われる。
- 今回できたビスマスの骸晶は金色であった。本来、ビスマスの骸晶は青色が目立っているが、どうして金色になるか、また実験で調べてみたいと思った。

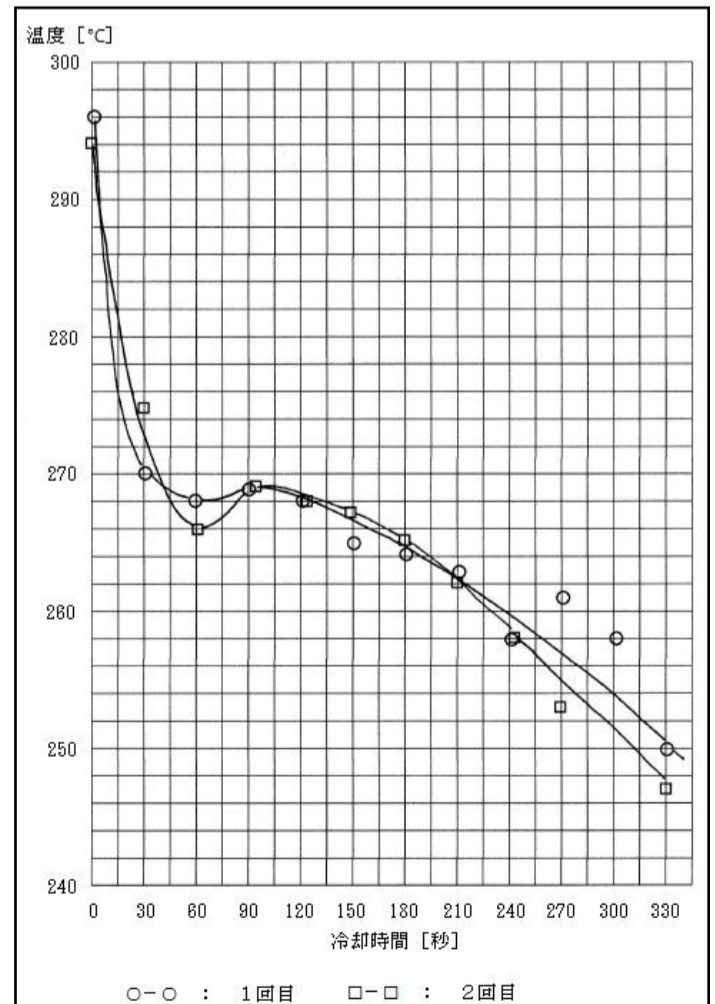


図4 冷却曲線



## 事例⑧ 確率と人間の直感

### ●生徒の活動及び教師の支援や工夫

各過程	生徒の活動	教師の支援や工夫
気付き	<p>○近年のIRのニュースにより、将来やってくるであろうカジノに対して興味をもち、できるだけ勝つにはどうすれば良いかと疑問に思った。その中で、特にポーカーに興味をもった。</p> <p style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">探究活動における目標を明確に持とう。</p>	<p>○興味・関心から自主的な課題設定を促し、開拓力を伸ばすようにした。内容が高度かどうかより、学習の目標に向けた指導が大切である。</p>
課題の設定	<p>○ポーカーの確率を調べると、かなり複雑であった(役になる確率が約1/2となる計算など)。そこで、比較的シンプルなルールのゲームがないか調べたところ、カジノのポーカーの中にダブルアップというシンプルなゲームがあることを知ったので、できるだけ勝てる方法を見つけることを課題にした。</p> <p>○まずは、人間の直感で選ぶ方法と確率が高そうな方を選ぶ方法があったので、どちらが良い選択方法なのか考えたかった。</p>	<p>○生徒の設定したテーマについて教師自身が研究方法を導くことによって、テーマに合った実験と結論を考え出し、助言ができるように準備した。</p> <p style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">求める結論と、それを導くための研究方法は妥当かな。</p>
仮説の設定	<p>○カジノのプロになると、確率の高い選択肢を選ぶより、人間が感覚で選択し続ける方法の方が勝率がよいという話があったので、人間の直感は優れていると考えた。</p>	<p>○生徒が使おうとしている数学の定理や理論を理解しているか確認した。</p>
検証計画の立案	<p>○1人50回ダブルアップをし、ダブルアップに成功した枚数を10人分調べる。もう一方はPCの表計算ソフトを使って、常に確率の高い方を選択する仕組みをつくり、1試行50回ダブルアップをして、ダブルアップに成功した枚数を10試行分調べる。</p>	<p>○考えはできていたが、プログラムの作成等ができなかったため、教員と協同作業で作成した。</p>
実験・結果の処理	<p>○人間の直感によるダブルアップの成功確率の平均枚数および、高確率になる方を選び続ける方法の成功確率の平均枚数を求めた。</p> <p>○結果の平均値を比較する。運が悪かった場合を想定して、1枚目が当たらなかった場合を除いたグラフも作成した。</p>	<p>○テーマの目標と結論があっているかを確認した。</p>
分析考察推論	<p>○平均値を比較すれば、人間の直感より、毎回、高確率になる方を計算して選り続ける方が勝ると分かった。また、カード運が悪かったことを考慮して作成したグラフを比較したが、人間の直感が勝ることはないことが分かった。</p>	<p>○考察を言葉に上手に表せていないところがあったので、書き方を確認した。</p>
表現伝達	<p>○途中までは他の班とともに違うテーマで研究を進めていたが、途中から独立し、独自のテーマで研究を始めたため、中間発表は未実施。</p>	
新たな展開	<p>○ダブルアップは毎回計算して確率の高くなる方を選び続けることが勝ちやすくなることは分かったが、本来はゲームをやめるタイミングを自分で決めなければならないので、今度はやめる条件を調べたいと考えた。</p>	
気付き	<p>○ダブルアップで悩むのが6、7、8あたりの数字であることから、悩むカードが出たらゲームを終了するといった条件が考えられる。</p>	
課題の設定	<p>○今までのダブルアップは推測が連続で何枚当たるかであったので、今回は推測を間違えると0枚となるルールを加える。</p> <p>○ゲームを終了する条件を3つ考えた。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 特定の数字のカードが出たら、ゲームを終了する。</li> <li>2) 特定の回数ゲームを繰り返したら、ゲームを終了する。</li> <li>3) (1)と(2)を組み合わせて、ゲームを終了する。</li> </ol> <p>(1)~(3)から、特定の数字かつゲームをやめる時期を調べて最適な方法を見つけ出す。</p>	<p>○生徒の研究が教師の力量を超えた内容の場合には、生徒に正直に伝え、生徒が教員にわかるように説明できるようにし、この繰り返しによって内容が理解できるようにする。</p>
仮説の設定	<p>○できるだけダブルアップで勝つ方法を、課題の設定の(1)~(3)を用いて検証する。</p> <p>○5、6、7、8、9のカードが出たときはゲームを終了し、5枚目でやめるのが良いのではないのかと考えた。</p>	<p>○研究内容の理論が十分に完成していたため、予測である程度の結果が分かっていた。高校レベルの数学を超えた内容を自分で学ぶ内容だった。</p>
検証計画の立案	<p>○表計算ソフトで作った仕組みを改変して検証する。</p> <p>(1)は「5~9」、「6~8」、「7」が出たらゲームを終了するルールで比較する。</p> <p>(2)は「3回目」「5回目」「7回目」でゲームを終了するルールで1試行50回調べる。</p> <p>(3)は(1)と(2)の結果をみて複合をつくる。</p>	<p style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">複数推測される結果に対して、その後それぞれをどう対応するか。</p>
実験・結果の処理	<p>○その平均値および成功枚数をグラフにして比較する。</p> <p>(1) 6~8が出たときにゲームを終了すると最も期待値が高いことがわかった。</p> <p>(2) 5~7の回数でゲームを終了すると最も期待値が高いことがわかった。</p> <p>(3) 6~8が出たときに終了し、5回以上になる前に終了すると期待値が高いことがわかった。</p>	<p>○データの処理方法について誤りがないかどうか、経過を報告するように指示した。</p>
分析考察推論	<p>○(1)~(3)の結果を比較すると、最も期待値が高いのは、「6~8」のカードが出た際にやめるのが最も期待値が高いことがわかった。また、(1)がハイリスクハイリターン、(3)がローリスクローリターンであることもわかった。</p>	
表現伝達	<p>○自分の感情を出し過ぎている表現になり、論理的な表現ができていなかった。</p>	<p style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">見る人、聴く人の立場になって伝える工夫をすることが大切。</p>
新たな展開	<p>○IRができた際には、実際に実践してみたい。</p>	

# 確率と人間の直感 ~人間の直感は期待値を超えられるか~

千葉県立木更津高等学校

## 1. はじめに

- 近年話題となっている大型リゾートIRに着目してカジノについて研究したいと考えた。
- 最もシンプルなゲームであるポーカーのダブルアップに着目した。
- 人間の直感による選択が優れているのか、それとも確率が高い方を選択するのが優れているのかを調べたいと思った。

## 3. 実験2

番号の組み合わせ	①のみ	①+②	③のみ	④のみ	④+⑤	④+⑥	④+⑦	③+⑥	③+⑦
平均	1.85	1.83	2.23	1.14	1.81	1.93	1.84	2.05	2.06

右の表は各条件の下で行って成功枚数を表したものです。

枚数	0	1	2	3	4	5	6	7	>=8
①のみ	11	42	22	13	5	5	1	0	1
③のみ	26	24	17	8	10	4	4	4	3
④のみ	68	6	7	5	5	3	2	2	2
①+②	14	36	22	17	5	4	2	0	0
④のみ	68	6	7	5	5	3	2	2	2
④+⑤	30	10	9	51	0	0	0	0	0
④+⑥	50	6	6	5	5	28	0	0	0
④+⑦	55	11	5	6	2	3	4	14	0
③+⑥	21	30	12	13	8	16	0	0	0
③+⑦	26	24	18	11	8	4	2	7	0
④+⑥	50	6	6	5	5	28	0	0	0
④+⑦	55	11	5	6	2	3	4	14	0

## 2. 実験1

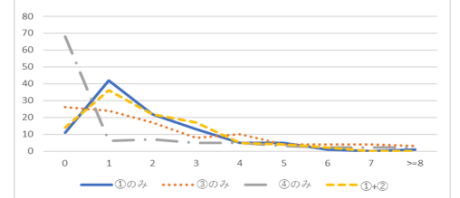
- ① 無作為にカードを1枚引く
- ② 次のカードが前のカードの数より大か小かを判断する
- ③ 同じ数が出た場合そのまま続ける
- ④ 判断が外れた場合は操作を終了し、カードの枚数を数える。

確率の高い方を選択し続ける方法と人間の直感で選択し続ける方法をそれぞれ1人50回繰り返し、10セットのデータを収集分析する。

## 3. 考察1

実験2より①と①+②の実験を行ったところ、平均値に差が小さい。このことから、5枚目より前に終わるものがほとんどで、平均枚数に影響が少ないことがわかる。そこで、実験を終了するカードの種類を変えた実験を行い、枚数の平均値が高いものを選びたいと考え、条件③と④の実験を行った。

止める数値の幅の比較



## 2. 実験1

実験結果

人間の直感で選択し続ける方法				確率の高い方を選択し続ける方法			
人物	平均値	最大値	2の回数	機械	平均値	最大値	2の回数
A	4.52	14	15	A	4.64	23	8
B	4.38	14	19	B	5.76	21	6
C	4.26	11	16	C	5.38	18	11
D	5.16	13	10	D	6.08	25	20
F	5.72	17	14	F	5.44	18	11
G	5.02	12	9	G	5.64	21	5
H	4.22	14	17	H	6.48	21	11
I	4.34	10	13	I	6.06	18	11
J	5.26	17	10	J	5.5	17	12
K	4.94	14	9	K	5.66	18	9

## 3. 考察2

条件①、条件③、条件④の結果から、6~8が出た場合は判断を終了するのが、一番平均値が高くなるのが分かる。原因としては、①の場合、すぐに判断を終了してしまうため、1枚で終わることが多く、平均値が下がった。④の場合、7が出るまで実験が続くので、0枚で終わる回数が多かったためと考えられる。ここで、④の場合は判断するのに判断を終了するのに制限をかけることで、平均枚数がのびるのではないかと考えた。そこで、④+⑤と④+⑥と④+⑦の実験を行った。

## 2. 実験1

### 結果

- ・確率の高い方を選び続ける判断のほうが優れている

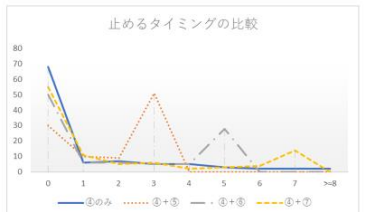
### 考察

- ・確率の高い方を選び続ける判断を「機械的な判断」と呼ぶこととする。
- ・機械的判断の方が優れているところから、機械的判断のみでダブルアップを想定した実験を行いたい。

## 3. 考察3

③と③+⑥、③+⑦の結果から、③より平均枚数が下がることが分かった。そのため、③+⑤については実験をしないと決めた。この結果は、判断を止めることで、かえって大量の枚数が当たる可能性をなくしてしまい、平均枚数を下げたと考えられる。

止めるタイミングの比較



## 3. 実験2

- ① ゲームのルールは実験1と同じ。
  - ② 途中で終了か続行するか選択することができる。
  - ③ 終了を選択した場合その時の枚数となる。
  - ④ 失敗した場合枚数を0枚と扱いとする。
- 以下の条件で機械的判断を用いて、それぞれ100回行いデータをとる。
- 条件① カードの数が5から9までの数が出たなら判断を終了する
  - 条件② 6枚目以降のカードが6から8まで数が出たなら判断を終了する
  - 条件③ カードの数が6から8までの数が出たなら判断を終了する
  - 条件④ カードの数で7が出たなら判断を終了する
  - 条件⑤ 三回目で判断を終了する
  - 条件⑥ 五回目で判断を終了する
  - 条件⑦ 七回目で判断を終了する

## 4. まとめ

- ・まず、実験1より、人間の直感はいかに役に立たないということがわかった。そのことをあらためて、実験から思い知った。
- ・実験2より、カジノでダブルアップをするときは、実験③の方法がよい。つまり、6~8のカードが出てきたときは、判断を止めてゲームを終了するのが最も良いことがわかった。また、判断枚数の制限は5枚目が最も良いとわかった。これは、機械的判断による平均枚数が約5枚であることが要因であると推察する。今後この要因を調べていきたいと考える。

## 6 評価

「理数探究基礎」及び「理数探究」の指導においては、探究の成果を上げることも大切ですが、それ以上に、主体的に探究の過程全体をやり遂げるための資質・能力を育成することが重視されています。探究した結果として生み出された成果における新たな知見の有無や価値よりも、探究プロセスにおいて、そのような資質・能力を身に付けることができたか、探究プロセスをメタ認知することができたかが重要です。

評価に際しては、研究報告書や発表の内容の他に、研究における生徒の創造的な思考や探究の過程における態度を重視したり、発表会における生徒の自己評価や相互評価を取り入れたりするなど、多様な方法を用いることが考えられます。

ここでは、研究協力校における『自己評価ルーブリック』を紹介します。

### (1) 研究について

※自己評価を1～4で表現する。その際、なぜその評価にしたのか、根拠となる事柄を書かせる。

	評価の観点	学習活動における具体的な評価基準	評価			
			1	2	3	4
1	研究テーマの設定	課題研究のテーマ設定をする際、事前にインターネットや文献等で先行研究等を調べ、研究の目的や筋道を立てることができる。	事前に先行研究を調べておらず、研究の目的も立てられなかった。	先行研究等は調べたが報告せず、研究の目的もうまく立てられなかった。	事前に先行研究等を調べ、研究の目的や筋道をおおまかに立てることができた。	事前に先行研究等を十分に調べ、研究の目的や筋道を十分に立てることができた。
2	知識・技能を活用した問題解決能力	既習事項の知識・技能を使って、課題解決の仮説を組み立て、実験の検証から実験方法等を組み立てることができる。	課題解決の仮説を立てることもできず、実験方法の構想も組み立てられなかった。	課題解決の仮説を立てることはできたが、実験方法の構想を組み立てることはできなかった。	既習事項の知識・技能を使って、課題解決の仮説を立て、実験方法の構想を描き、組み立てることができた。	既習事項の知識・技能を効果的に活用することで、科学的根拠に基づいて課題解決の仮説を立て、実験方法の構想を組み立てることができた。
3	主体的・協働的な活動の推進	課題研究を進める際、班員とともに力を合わせ、自ら主体的・協働的に取り組むことができる。(関係機関との連携を行っていえば、プラス1をする)	課題研究を主体的に取り組まず、他人任せになってしまった。	課題研究は主体的に取り組めたが、班員と協働的に取り組むことはできなかった。	課題研究を主体的に取り組む、班員と互いに役割を分担・協力し、情報の共有も適切に行った。	課題研究を主体的に取り組む、互いに役割を分担・協力しながら積極的に研究し、知識・情報の共有を十分に行った。
4	科学的に探究する能力と態度	課題研究の探究活動を通じて、実験データや現象・事項を客観的に分析し、これまでの知識・技能を活用させ、検証することができる。	実験データの現象・事項の分析も十分でなく、実験の仮説も検証することができなかった。	実験データの現象・事項の分析をしたが、実験の仮説を検証することはできなかった。	実験データの現象・事項を科学的視点から客観的に分析し、仮説を検証することができた。	実験データの現象・事項を科学的視点から多角的かつ客観的に分析し、仮説を検証することができた。
5	プレゼンテーション能力の育成	スライドやポスターの作成を行い、それを使って研究内容のプレゼンテーションができ、質問にも適切に答えることができる。	資料の作成や発表練習をせず、発表がうまくできなかった。	資料は作成したが、分かりづらかった。発表はできたが、質問にはあまり答えられなかった。	聞く側のことも考え、課題研究の内容を上手に説明でき、質問に的確に答えることができた。	聞く側のことも考え、課題研究の内容を上手に説明でき、研究の不十分な点も理由に添えるなど、的確に質問に答えることができた。

## (2) 研究論文について

項目	内容	段階
1 提出	期限までに提出できた。	3 期限の日時まで提出できた。
		2 期限の時間に遅れたが、その日のうちに提出できた。
		1 1日以上遅れたが、提出できた。
2 体裁・構成	実験方法等の構成が適正で、執筆要領を守って書かれている。	3 指示されたページの分量を十分に使って論文が書かれている。
		2 論文の構成が適正で、執筆要領をすべて守って書かれている。
		1 論文の構成を整えて書かれている。
3 要旨	研究の要旨が、指定した文字数で書かれ、かつ内容が的確である。	2 和文要旨の内容が的確でわかりやすい。
		1 和文の要旨が、指示された文字数で書かれている。
4 研究目的・仮説設定	研究の目的および仮説が適切に設定されている。また、研究の各段階において、仮説を立てながら研究を先へ進めている。	3 研究の過程で、結果の評価と仮説の再設定を繰り返しながら研究を進めている。
		2 研究の目的と、それに対する適切な仮説が示されている。
		1 研究の目的が示されている。
5 先行研究調査	先行研究を十分調査し、引用/参考文献として記載している。また、調査により自分たちの研究の新規性・独自性が述べられている。	4 先行研究について取り上げ、研究の新規性・独自性が述べられている。
		3 先行研究について取り上げ、本文中で議論している。
		2 引用/参考文献が正しい書式で記載されている。
		1 引用/参考文献が記載されている。
6 仮説検証の方法立案	仮説を検証するための精度・信頼性等を考慮した適切な方法を考えている。また、方法が独創的である。	4 検証の精度・信頼性が考慮され、さらにアイデアが独創的で工夫が見られる。
		3 検証の精度・信頼性等が考慮されている。
		2 検証の方法が詳しく、わかりやすく説明されている。
		1 検証の方法が書かれている。
7 仮説検証の進行とデータ処理	十分な量の信頼性のあるデータを取得し、それが表・グラフ等で表現されて適切な方法で解析されている。	4 十分な量のデータを取得し、データを適正な手法で処理して考察に用いている。
		3 十分な量のデータが取得されている。
		2 実験の結果が適切な表やグラフを用いて表現されている。
		1 仮説を検証するための実験がなされている。
8 考察	データを文献等をもとに評価し、妥当な考察を行っている。さらに、研究の一般化や応用、今後の発展性が述べられている。	4 文献等をもとにデータを評価し、妥当な考察が書かれている。文献等を引用し、研究成果の一般化や応用、今後の発展性が書かれている。
		3 文献等をもとにデータを評価し、妥当な考察が書かれている。
		2 データをもとに、妥当な考察が書かれている。
		1 研究の考察が書かれている。
9 英語要旨	英語要旨を作成し、誤字や文法的な誤りがなく的確に書かれている。	3 誤字や文法的に誤りがなく、的確にまとめている。
		2 英語要旨を作成した。

### 適切な評価を行うために

ワークシートや実験ノートなど、活動の内容や様子、そこで生じた疑問、それに対する自らの思考の過程などを記録したものを残し、課題設定・各発表会・論文作成で区切るなど、年間で数回の自己評価を実施します。真面目な生徒ほど自分に厳しく評価しがちであるため、班員同士による相互評価も有効です。

教員側も同様に評価し、面談を行うなど、総合的で多面的な評価とします。複数の教員による複合的な視点で評価することが大切です。



令和2年度 千葉県総合教育センター調査研究

「理数」の進め方ガイドブック 実践事例編

研究対象校 高等学校

研究領域 指導方法

研究協力校 県立木更津高等学校（令和元・2年度）  
県立佐倉高等学校（令和元・2年度）  
県立柏高等学校（令和2年度）  
県立鎌ヶ谷西高等学校（令和2年度）

研究担当所員 カリキュラム開発部 部長 朝倉 真由美  
カリキュラム開発部科学技術教育担当  
主席研究指導主事 鈴木 康治  
研究指導主事 矢部 雅彦  
研究指導主事 長谷川 礼子  
研究指導主事 鈴木 啓督  
研究指導主事 渡部 智也  
研究指導主事 中村 典雅（主担当）

令和3年3月発行

【編集発行者】 千葉県総合教育センター  
所長 櫻井 比呂樹

【編集兼発行所】 千葉県総合教育センター  
〒 261-0014 千葉市美浜区若葉2丁目13番  
TEL 043-276-1166 FAX 043-272-5128  
URL <http://www.ice.or.jp/nc/>

【問合せ】 千葉県総合教育センター カリキュラム開発部  
科学技術教育担当  
TEL 043-276-1184 FAX 043-276-4095  
E-mail [sosekagaku@chiba-c.ed.jp](mailto:sosekagaku@chiba-c.ed.jp)



みんなで取り組む  
千葉の教育