

REHSE「高校生による環境安全とリスクに関する自主研究活動支援事業」

## 2022年度 研究活動報告書

### 研究課題名

細菌を利用した生分解性プラスチックの経済的生産  
ー海洋マイクロプラスチック削減に向けてー

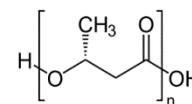
### 研究チーム名

理科部プラガールズ（5名）（愛媛大学附属高等学校）  
2年：村上陽向、近藤百々花  
1年：門田未来、廣江実采、蔵野美結  
指導教員：中川和倫（理科部顧問）〈理科・生物担当〉



### 1. 研究の背景（研究の動機、前年度までの成果）

海洋には毎年 1000 万トン以上のプラごみが流入しており、このままだと 2050 年には海洋プラごみの全質量が海洋生物の全体重を超えるとされ、マイクロプラスチック汚染が深刻な問題となっている。昨年度の研究で、市販の天日塩から単離した海洋性細菌に生分解性プラスチックの材料となる PHB（ポリヒドロキシ酪酸）を合成させることができ、今年度はその経済的な生産方法の開発に取り組んでいる。また、昨年度の研究で、海面では紫外線によるプラスチックの物理的な分解（高分子のまま破碎による微細化）が、微生物による生分解（無機物化）よりも早く進行することがわかり、マイクロプラスチックのナノプラスチック化による生物濃縮の加速が懸念された。



PHB の化学式

### 2. 研究の目的

私たちにプラスチックを利用しない生活は不可能である。そのため、最終的な目的は「プラスチックを使用する生活を続けながら、自然環境を守ることができる未来を目指すこと」である。すでに海洋中に放出されているマイクロプラスチックを減らすことは困難だが、大型プラごみのリサイクルを推進するとともに、回収が困難な使い捨ての小型プラスチックを生分解性にすることによって、将来のマイクロプラスチックを増やさないようにすることができる。生分解性プラスチックの現在の課題は高コストなところであり、経済的な低コスト生産方法を探索したい。また、野外調査からその使用用途も検討したい。

### 3. 活動の概要 (2022年6月下旬～2023年1月20日現在、今後の予定も含む)

#### (1) 出前講義

①日時：8月8日(月) 14:30～16:30

場所：(株)カネカ高砂工業所アグリバイオ&サプリメント研究所  
(兵庫県高砂市) <生分解性プラスチック製造企業>

講義題目：生分解性プラスチック PHBH の生産技術とその実用化

講師：佐藤俊輔先生 ((株)カネカ高砂工業所：研究リーダー)



佐藤俊輔先生の講義

②日時：8月26日(金) 17:00～18:00

場所：愛媛大学沿岸環境科学研究センター (松山市)

講義題目：環境汚染物質としてのマイクロプラスチック問題

講師：野見山桂先生 (愛媛大学理学部・沿岸環境科学研究センター：  
准教授)



野見山桂先生の講義

③日時：8月8日(月) 9:30～11:00

場所：長浜バイオ大学 (滋賀県長浜市)

講義題目：マイクロプラスチック問題の実態・課題とその除去・回収  
技術 (研究室見学も行った)

講師：小倉淳先生 (長浜バイオ大学アニマルバイオサイエンス学科：  
教授、(株)ノベルジェン：代表取締役)



小倉淳先生の研究室で

④日時：7月1日(金) 14:00～15:00、ほか1月までに計3回

場所：愛媛大学工学部日向研究室 (松山市)

講義題目：海岸プラスチックの調査方法・研究内容の指導

講師：日向博文先生 (愛媛大学大学院理工学研究科生産環境工学専  
攻：教授)



日向博文先生の指導

⑤日時：7月22日(金) 9:00～10:00、ほか1月までに計10回 (毎月1～2回)

場所：7月22日は(株)リバネス COG (東京都墨田区)、それ以外はオンライン

講義題目：(株)リバネス・日本財団「マリンチャレンジプログラム 2022」(4月～3月)  
の指導、研究者や文献に関する情報提供 (7月22日は施設見学も行った)

講師：小玉悠然先生 ((株)リバネス創業開発事業部)、吉川綾乃先生 ((株)リバネス教育  
開発事業部)

⑥日時：7月13日(水) 16:00～17:00、ほか1月までに計5回 (1～2か月に1回)

場所：オンライン

講義題目：環境意識啓発マガジンの発行に向けての指導、県外高校との交流仲介  
講師：田口康大先生（東京大学海洋教育センター：特任講師、3710Lab：代表理事）、梶川  
萌先生（3710Lab）、佐藤久美子先生（3710Lab）  
備考：日本財団「瀬戸内オーシャンズX」の「海洋環境デザイン教育プログラム」に参画  
し、東京の「3710Lab（みなとラボ）」から啓発活動や発行物制作の指導を受けている。

⑦日時：7月30日（土）11:00～12:00

場所：愛媛県南宇和郡愛南町（回収プラごみ集積場）

講義題目：愛媛県内の立入困難海岸におけるプラごみの漂着実態調査

講師：岩田功次先生（社団法人 EC オーシャンズ：代表）

備考：岩田代表は愛媛県環境局が令和4年に発行した「令和3年度愛媛県海洋プラスチックごみ総合調査報告書」の調査データ提供者である。

⑧日時：7月30日（土）14:00～15:00

場所：愛南漁業協同組合事務所（南宇和郡愛南町）

講義題目：漁業におけるプラごみ問題とその対策、及び施設見学

講師：立花弘樹先生（愛南漁業協同組合：組合長）



立花弘樹組合長の話

## （2）見学（施設見学、現場見学）

①日時：7月3日（日）9:00～12:00、ほか1月までに計12回

場所：松山市梅津寺海水浴場、ほか愛媛県内の海岸6か所

見学の目的：海岸漂着のプラごみの目視調査と、マイクロプラスチックの採集・分析に、月1～2回のペースで継取り組んでいる。



海岸で定期野外調査

②日時：7月15日（金）14:00～15:30、ほか1月までに計7回

場所：愛媛大学工学部（松山市）

見学の目的：日向博文教授の研究室でFT-IR（フーリエ変換赤外線分光法）を利用して、海岸で採集したマイクロプラスチックの材質分析を行った。（高大連携授業「課題研究Ⅰ」の時間や長期休業中に研究室を訪問し、生徒だけで装置を使用した。）



工学部でFT-IR分析

③日時：7月20日（水）17:30～18:30

場所：（株）日立ハイテク本社（東京都港区）

見学の目的：日立ハイテクの「理科教育支援プログラム」で7月～11月に無償貸与を受けた卓上小型走査型電子顕微鏡 TM-4000 の



卓上電子顕微鏡研修

利用についての具体的な技術指導と、製品開発に関する会社見学を行い、プログラム担当の寺田大平様から詳しい説明を受けた。

④日時：7月30日（土）9:00～11:00

場所：愛媛県南宇和郡愛南町御荘湾

見学の目的：社団法人「EC オーシャンズ」のプラごみ回収活動に参加した。



御荘湾での実態調査

⑤日時：8月26日（金）16:00～17:00

場所：愛媛大学生物試料バンク（es-BANK）、沿岸環境科学研究センター、及び理学部の研究室（松山市）

見学の目的：野見山桂准教授の講義を聴講する前に、生物試料バンクの内部を見学した。さらに同センターの研究室で環境汚染物質をppbやピコグラム単位で測定できる装置の説明を受け、本校出身の博士課程の大学院生（理科部OB）から研究内容の話聞いた。



氷点下 30°Cの生物試料バンク内を見学

⑥日時：12月3日（土）9:00～17:00

場所：愛媛大学沿岸環境科学研究センター（松山市）

見学の目的：同センターの生物試料バンクで鯨類の解剖を見学し、イルカやスナメリの胃の内容物から見つかるプラスチック類を調べた。また、全国各地から集まった大学や博物館の研究者から聞き取り調査を行った。



イルカの胃の内部からの抽出物調査

○その他、7月21日に国連大学（東京都渋谷区）で開催された国際会議で発表後に他の国際会議の見学・聴講（日本語同時通訳）、7月23日に愛媛県立松山南高校（松山市）で開催された愛媛県高文連自然科学専門部の「自然科学研究会」への研修参加、11月5日開催の「海の宝アカデミックコンテスト決勝」で発表後の北海道大学水産学部（北海道函館市）の施設見学を行った。

### （3）研究成果の発表

<審査を伴うコンテスト>

①日時：11月19日（土）10:00～16:00 愛媛県総合科学博物館（新居浜市）

発表の場：愛媛県高等学校文化連盟「第36回愛媛県高等学校総合文化祭」自然科学部門（化学分野・地学分野の2件エントリー）

発表題目：（化学分野）「細菌由来の海洋生分解性プラスチックの実用化に向けて」



予選のポスター発表

(地学分野)「陸水から流入するマイクロプラスチックによる海洋汚染」

発表形態：予選：ポスター発表、決勝：ステージ発表（スクリーンにポスター投影）

発表者名：＜化学分野＞村上陽向、近藤百々花

＜地学分野＞門田未来、廣江実采

結果：2件とも事前提出資料の予備選考通過による予選出場。化学分野の発表は決勝に進出し、最優秀賞（全分野で総合1位）を受賞（翌年7月の全国大会出場が決定）

②日時：12月3日（土）9:00～16:00 毎日ホール（東京都千代田区）

発表の場：イオン1%クラブ・毎日新聞社・イオン環境財団「第11回イオンエコワングランプリ最終審査会」研究・専門部門

発表題目：「海洋マイクロプラスチック汚染の実態調査と解決に向けての活動」

発表形態：口頭発表（レポート提出による一次選考・二次選考を通過しての出場）

発表者名：村上陽向、近藤百々花＜決勝出場の交通費支給の2名＞

結果：内閣総理大臣賞を受賞、参加校によるワークショップあり



最終審査の口頭発表

③日時：11月5日（土）10:00～15:00 北海道大学大学院水産科学研究  
院（北海道函館市）

発表の場：北海道大学・日本財団「海の宝アカデミックコンテスト  
2022 全国大会—海と日本 PROJECT—」マリン・サイエンス部門  
決勝（四国・九州・沖縄ブロック大会を優秀賞により通過）

発表題目：「農業用・漁業用の産業系プラスチックによる瀬戸内海のマイクロプラスチック汚染対策」

発表形態：口頭発表

発表者名：村上陽向、近藤百々花＜決勝出場の交通費支給の2名＞

結果：ちょうちんあんこう賞（4位）・医食同源賞（特別賞）を受賞



決勝の口頭発表

④日時：8月19日（金）13:00～17:00 みなと交流センター「はーばりー」（今治市）

発表の場：日本財団・リバネス「マリンチャレンジプログラム2022 中国・四国地方大会」

発表題目：「瀬戸内海から始める海洋プラスチック問題の解決」

発表形態：口頭発表・ポスター交流

発表者名：村上陽向

結果：優秀賞を受賞（3月5日に東京で開催される全国大会への出場が決定）

⑤日時：12月26日（月）11:00～17:00 レクザムホール：香川県県民ホール（高松市）

発表の場：環境省・環境再生保全機構・国連大学サステイナビリティ高等研究所「第8回

全国ユース環境活動発表大会」四国地方大会

発表題目：「瀬戸内海のマイクロプラスチック汚染の実態とその対策」

発表形態：口頭発表

発表者名：門田未来、廣江実采、蔵野美結

結果：最優秀賞を受賞（2月5日に東京で開催される全国大会への出場が決定）

⑥日時：8月17日（水）13:00～16:00 オンライン開催

発表の場：リバネス「サイエンスキャッスル中四国大会」キックオフイベント

発表題目：「瀬戸内海のマイクロプラスチック汚染の対策に向けて」

発表形態：口頭発表（オンライン）

発表者名：村上陽向

結果：審査により12月10日の本大会での口頭発表（決勝進出）が決定

⑦日時：12月10日（土）9:30～17:00 岡山コンベンションセンター（岡山県岡山市）

発表の場：リバネス・中国銀行・山陽新聞社「サイエンスキャッスル 2022 中四国大会」

決勝（8月開催のキックオフイベント通過により決勝に出場）

発表題目：「瀬戸内海のマイクロプラスチック汚染の対策に向けて」

発表形態：口頭発表・ポスター交流

発表者名：村上陽向

結果：優秀賞を受賞



⑧日時：8月7日（日）10:00～16:00 愛媛県総合科学博物館（新居浜市）

発表の場：愛媛県総合科学博物館「第6回中高生のためのかはく科学研究プレゼンテーション大会」ポスター部門

発表題目：「生分解性プラスチック PHB の経済的生産」

発表形態：ポスター発表

発表者名：村上陽向、廣江実采、蔵野美結

<対外的な情報発信：審査を伴わない発表>

⑨日時：7月21日（木）10:00～12:00 国連大学（東京都渋谷区）

発表の場：国連「第3回パリ協定とSDGsのシナジー強化に関する国際会議」内サイドイベント「気候及び持続可能な社会に関する地域の行動を促す多様なステークホルダー間連携の役割」

発表題目：「マイクロプラスチック解消の挑戦（Tackling Microplastics Pollution）」

発表形態：口頭発表（英語同時通訳付き）

発表者名：村上陽向、近藤百々花



- ⑩日時：7月22日（金）12:00～15:30 国連大学・アネックススペース（東京都渋谷区）  
発表の場：環境省・環境再生保全機構・国連大学サステナビリティ高等研究所「第7回  
全国ユース環境活動発表大会フォローアップ研修」  
備考：全国から招集された代表4校が研究発表とグループワークに取り組んだ。

- ⑪日時：6月28日（火）11:30～12:40 愛媛大学附属高等学校  
発表の場：愛媛大学教育学部附属中学校の課題研究指導  
発表題目：「海洋マイクロプラスチック問題とその対策」  
発表形態：授業形式の口頭発表  
発表者名：村上陽向、近藤百々花  
備考：愛媛大学教育学部附属中学校の課題研究「プラごみ」調査班（中学3年生23名と  
引率教員）に対して約1時間の講義・質疑応答を行った。



- ⑫日時：9月17日（土）13:00～16:00 オンライン開催  
発表の場：ノートルダム清心学園中学・女子高校「第14回女子生徒による科学研究発表  
交流会プレ大会 in 四国」（1月28日開催のweb全国大会でも発表予定）  
発表者名：門田未来、廣江実采、蔵野美結  
備考：藤谷美菜先生（愛媛大学農学部生命機能学専攻・特任講師）の講演を聴講した。

- ⑬日時：10月22日（土）10:00～17:00、23日（日）10:00～16:00 アイテムえひめ（愛媛  
国際貿易センター）大展示場（松山市）  
発表の場：松山市環境部「まつやま環境フェア2022」  
発表題目：「海洋プラスチック問題を考える」  
発表形態：1日目に約1時間の啓発ステージイベントを担当、1日目・  
2日目ともブース展示に出展（パネルや資料の展示、対面で説明）  
発表者名：村上陽向、近藤百々花、門田未来、廣江実采、蔵野美結



- ⑭日時：11月5日（日）10:00～17:30 オンデマンド参加  
発表の場：京都大学超SDGsシンポジウム  
備考：交通費支給による発表依頼があったが、開催日程が別の全国大会出場と重複してい  
たため、発表動画の提出によるオンデマンド参加を行った。

- ⑮日時：12月21日（水）14:40～15:00 愛媛県立松山北高等学校（松山市）  
発表の場：令和4年度「愛媛県高等学校教育研究大会」理科部会  
発表者名：村上陽向、近藤百々花<県高文祭最優秀受賞者>

#### ⑩メディアからの情報発信など

- 7月1日 松山市「広報まつやま」に掲載（メンバーの市長表彰）
- 7月29日 愛媛朝日テレビ「エヒメのマナビ」で取材された活動の放送（12分）
- 8月19日 南海放送の夕方ニュースで「マリンチャレンジ優秀賞」の放送（2分）
- 9月1日：東温市「広報とうおん」に掲載（メンバーの市長表彰）
- 9月16日 YouTube 番組「内田篤人のSDGsスクール」で活動の紹介
- 10月3日 国連大学HPで生徒インタビュー動画を公開（日本語・英語版、各18分）
- 10月16日 (株)カネカHPに「プラガールズがやってきた」掲載（8月の訪問）
- 10月20日 日本財団「瀬戸内オーシャンズX」から「プラガールズマガジン」発行
- 11月10日 あいテレビのニュース内「SDGsコーナー」で活動を放送（6分）
- 12月1日 (株)リバネス「教育応援」12月号の「躍動する中高生研究者」に掲載
- 12月5日：毎日新聞に「イオンエコワングランプリ」内閣総理大臣賞の掲載
- 1月20日 「タウン情報まつやま」2月号の「SDGs特集」に掲載
- 1月下旬：読売新聞に「全国ユース環境活動発表大会四国大会」最優秀の掲載予定

#### ⑪校内での発表

- 7月8日（金）13:15～15:15 「課題研究Ⅰ」（必修授業）中間発表会（口頭発表）
- 7月28日（木）・29日（金）10:00～12:00 「学校見学会」に来校した中学生・保護者及び中学校教員に研究内容の展示公開と対面での説明
- 9月16日（金）13:15～15:15 「課題研究Ⅰ」（必修授業）成果発表会（ポスター発表）
- 9月21日（水）8:30～15:00 「愛附祭」（校内文化祭）における展示・対面説明
- 10月15日（土）9:00～17:00、16日（日）9:00～12:00 「全国高校生 SDGs Youth Summit」：本校WWL指定校企画（対面とオンラインのハイブリッド方式）で口頭発表
- 12月6日（火）9:00～12:30「第2回愛附コンテスト」（校内研究発表会）最優秀賞

#### （4）その他の活動

8月24日、日本財団「瀬戸内オーシャンズX」3710Labの仲介で、内陸県でマイクロプラスチック研究を検討している栃木県立宇都宮北高校の生徒2名とオンラインで研究交流を行った。12月17日、愛媛県立長浜高校（大洲市）を訪問して水族館部の生徒が運営する「長高水族館」を見学し、啓発マガジンの取材や研究交流を行った。

#### （5）受賞等

- ①「細菌由来の海洋生分解性プラスチックの実用化に向けて」（第36回愛媛県高等学校総合文化祭・自然科学部門 愛媛県高等学校文化連盟）
  - ・優秀：総合1位（11月19日：令和5年7月29～31日の全国大会出場が決定）

- ②「海洋マイクロプラスチック汚染の実態調査と解決に向けての活動」(第11回イオンエコ  
ワングランプリ イオンワンパーセントクラブ・毎日新聞社・イオン環境財団)  
・内閣総理大臣賞(12月3日)
- ③「農業用・漁業用の産業系プラスチックによる瀬戸内海のマイクロプラスチック汚染対策」  
(海の宝アカデミックコンテスト 2022 マリンサイエンス部門 北海道大学・日本財団)  
・優秀賞(四国・九州・沖縄ブロック大会:10月13日:11月の全国大会出場が決定)  
・ちょうちんあんこう賞・医食同源賞(全国大会:11月5日)
- ④「瀬戸内海から始める海洋プラスチック問題の解決」(マリンチャレンジプログラム 2022  
中国・四国地区大会 リバネス・日本財団)  
・優秀賞(8月19日:3月5日の全国大会出場が決定)
- ⑤「瀬戸内海のマイクロプラスチック汚染の対策に向けて」(サイエンスキャッスル 2022 中  
四国大会 中国銀行・山陽新聞社・リバネス)  
・優秀賞(12月10日)
- ⑥「瀬戸内海のマイクロプラスチック汚染の実態と対策に向けた啓発活動」(第8回全国ユ  
ース環境活動発表大会・四国地方大会 環境省・環境再生保全機構・国連大学サステイナ  
ビリティ高等研究所)  
・最優秀賞(12月26日:2月4日~5日の全国大会出場が決定)
- ⑦「調味料利用の細菌培養による生分解性プラスチックの経済的生産」(第13回坊っちゃん  
科学賞論文コンテスト 東京理科大学)  
・優良入賞(11月13日:論文提出は8月)
- ⑧「瀬戸内海における海洋マイクロプラスチック汚染の実態とその対策」(第21回全国高校  
生理科・科学論文大賞 神奈川大学)  
・努力賞(12月23日:論文提出は8月)
- ⑨「瀬戸内海のマイクロプラスチック汚染の実態調査とその対策」(第2回愛附コンテスト:  
校内研究発表会)  
・最優秀賞(12月6日)

<内定している受賞>

- ⑩「愛顔のえひめ賞（愛媛県知事表彰）」（愛媛県）受賞が内定（表彰式は2月8日）
- ⑪「三浦保環境賞」（あいテレビ）受賞が内定（表彰式は2月17日）
- ⑫「愛媛大学児童生徒等表彰（学長表彰）」（愛媛大学）受賞が内定（表彰式は3月）

## （6）他の助成

- ①マリンチャレンジプログラム2022（（株）リバネス・日本財団）＜4月～3月＞  
「瀬戸内海から始める海洋プラスチック問題の解決」：助成金5万円（8月まで）+3万円（9月以降）、毎月のリモートメンタリング（中国・四国地区8件採択）

- ②理科教育支援プログラム（（株）日立ハイテク）＜7月～11月上旬＞  
「卓上小型走査型電子顕微鏡の無償貸与」：中国・四国・九州地区10校採択、貸与期間7月～11月



無償貸与の電子顕微鏡 TM4000

- ③瀬戸内オーシャンズX（日本財団・3710Lab）＜4月～3月＞  
「海洋環境デザイン教育プログラム」：環境啓発マガジンの発行支援（編集デザイナー依頼や印刷の経費負担）、毎月のリモートメンタリング

## （7）研究課題を選んだ理由（理由とその背景）

海洋マイクロプラスチック問題の解決を目指して活動を開始した。マイクロプラスチックとは5mm以下になったプラスチックを指し、その表面に有害な化学物質が付着しやすい性質があるため、生物濃縮による有害性が指摘されている。昨年度までの実験で、多くのプラスチックは微生物による生分解（水と二酸化炭素にまで分解）をほとんど受けず、バイオマスプラスチック配合レジ袋はその配合率の高さが生分解性に反映され難いことを確認した。一方で紫外線（UVC）照射実験では物理的分解によりナノプラスチック化が進むことが分かった。ナノプラスチックは100nm以下とウイルスサイズのためPM2.5のように空気中を漂い、肺から体内に入る。私たちはプラスチック製品を使わない生活は不可能だが、そのようなプラスチック問題を解決するために、海洋生分解性プラスチックの生産に取り組んだ。その結果、海洋性細菌から抽出したPHBによる生分解性プラスチックの合成に成功した。しかし、生産が高コストになることと加工の難しさが課題であった。そこで、今年度は海岸のマイクロプラスチック調査を基にした生分解性プラスチックの使用用途の検討と、社会実装に向けた低コスト生産技術の開発をテーマとした。前者については愛媛大学の研究者からご指導を受けることが可能であったが、後者については地元で専門研究者が見つからなかった。そこで、県外の企業や大学の研究者との連携・交流を進め、研究の進展に向けての助言を得ている。



紫外線照射実験で表面が粉碎されたように分解されたレジ袋

#### 4. 成果概要【本研究活動で得られた成果】

##### (0) 昨年度までの成果と今年度の目標

昨年、本研究チームでは市販の13種類の天日塩中から休眠状態の海洋性細菌67株を単離し、PHB産生能の優秀な3株を選抜した。愛媛大学農学部での塩基配列解析により、3株のうち2株は新種の可能性があった。菌体内から特許公報で公開されていた方法に基づいて抽出したPHBに海洋性細菌を接種して培養した結果、生分解されることを確認した。環境にやさしいPHBは有用性が高いと考えられるが、コスト面と耐久性から商品化とその普及が難しいのが現状である。そこで本研究では、マイクロプラスチック削減のためにPHBの経済的生産手法の開発に取り組むこととした。方針として、(1) PHBの低コスト生産に有用な培地の探索、(2) 高性能なプラスチック分解菌とプラスチック資化性細菌の探索、(3) プラスチック分解菌の及ぼす環境影響の定量化を行った。そのため、生分解性が望まれるプラスチック製品を検討するための海洋マイクロプラスチック調査や、(4) 経済的生産に影響を与えると考えられる一般市民の行動への啓発活動も行った。



海洋性細菌の単離に用いた市販の天日塩（産地9か国）



単離した海洋性細菌のコロニーと抽出した菌体内PHB



選抜した3株。右2株に新種の可能性。大きさ：2μm～3μm

##### (1) 生分解性プラスチック PHB の経済的な培地の探索

###### ① 優秀菌株選抜の再検討

従来のPHB産生能優秀菌株の選抜は、海洋性細菌用の高価なマリネブロス培地（500g・3万円・培地13.4L分）による培養条件だったため、PHB生産は非常に高コストになり、より安価な標準寒天培地（普通培地、500g・1.6万円・培地22.2L分）に代えてもコスト面に問題があった。それを解消するため、マリネブロス培地の成分を調合して調製しようと考えたが、本校化学室の薬品庫には必要な試薬がほとんどなく、それらを購入する予算もなかった。そのため、同様の成分を含み手軽に購入できる安価な醤油を希釈して糖を添加したもの（塩分濃度はマリネブロス培地と同じ2%に調整）を新規培地として採用し、再培養し再選抜を行った。その結果、希釈醤油培養におけるPHB産生能の優秀な菌株は、マリネブロス培養で従来から選抜していた3株と全く同じになった。以後は、この3株（イタリア産天日塩由来のI3-1株、I3-3株、南アフリカ産天日塩由来のSA3-6株）を用いることにした。

再選抜した10株でPHB産生能の再検討

I3-3	+	+
I3-1	+	+
F3-1	-	+
C3-12	-	+
SA3-1	-	+
SA3-6	+	+
C10-4	-	+
C3-14	-	+

###### ② 醤油培養の最適条件の検討

PHB産生に最適な糖の資化性については予備実験として、グルコース、スクロース、ラクトース、マルトース、フルクトース、ガラクトースを標準培地（普通培地）に各5%添加し

て培養したところ、菌株により最適な糖の資化性には差があったが、下表のようであった。全体としてグルコースとスクロースが有効であるが、コスト面から市販の砂糖を利用できるスクロースを用いることにした。

異なる種類の糖を標準培地（普通培地）に5%添加した培養で培地 100mL あたりの PHB 収量比較（mg）							
菌株	糖なし	グルコース	スクロース	ラクトース	マルトース	フルクトース	ガラクトース
I3-1	12.40	<b>90.80</b>	18.30	26.5	51.50	25.50	21.00
I3-3	11.40	<b>93.80</b>	<b>86.40</b>	0.00	54.75	1.50	30.00
SA3-6	17.00	67.25	<b>130.50</b>	14.25	26.50	<b>77.00</b>	50.00

予備実験の結果から、醤油の濃度を 50 倍希釈、100 倍希釈とした。それよりも高濃度だと醤油の色の濃さで細菌の増殖を識別し難く、それよりも低濃度だと栄養分不足で増殖し難い。希釈醤油にスクロース（市販の砂糖）添加を 5%、10%としたものを新規培地として、マリネブロス培地と比較した。培地の条件と菌株の組合せによる増殖曲線をバクテリア計算盤で 1 日ごとに測定したところ、下のグラフのようになった。



培地の種類（青：マリネブロス・赤：50 倍希釈醤油・紫：100 倍希釈醤油）による増殖曲線の違い（1~5 日後）

マリネブロス培地よりも希釈醤油培地の方が増殖が遅い。マリネブロス培地だと 2~3 日後に増殖のピークを迎えるが、希釈醤油培地だと 3~5 日後がピークになる。また、醤油 50 倍希釈培地よりも醤油 100 倍希釈培地の方が菌体数の上限が低くなる傾向があるが、それが PHB 収量にはあまり影響しないことが予備実験から明らかになっている。増殖後の菌体内に PHB が蓄積されることから、培養期間は 1 週間とした。

培地の種類・条件と菌株の組合せによる PHB の抽出収量（培地 100mL あたり PHB : mg）は右の表のようになった。全体として、マリネブロス培地よりも希釈醤油培地の方で PHB 収量が多く、生産コストも安価になる（1 L が約

培地の条件による PHB 収量の違い（培地 100mL あたり PHB : mg）			I3-1	I3-3	SA3-6
マリネ			<b>38.6</b>	<b>23.8</b>	<b>50.2</b>
醤油	50倍	スクロース 5%	<b>187.5</b>	<b>200.0</b>	<b>142.5</b>
		スクロース 10%	<b>90.0</b>	<b>217.5</b>	<b>112.5</b>
	100倍	スクロース 5%	<b>390.0</b>	<b>270.0</b>	<b>290.0</b>
		スクロース 10%	<b>12.5</b>	<b>325.0</b>	<b>110.0</b>

250 円の醤油と 1 kg が約 250 円の砂糖を使用)。また、PHB 収量は醤油の 50 倍希釈よりも 100 倍希釈の方が多く、砂糖の添加は 10%よりも 5%の方が多かった。C/N 比改変培養はタンパク質合成の抑制（N 減）と PHB 合成の促進（C 増）を目的としているが、砂糖 10%添加では高浸透圧の影響が出ている可能性も考えられる。また、ここまでの検討で、PHB 収量 1 g あたりの生産コストを培地費用のみで比較すると、マリネブロス培養では約 4500 円に対して、希釈醤油・砂糖添加培養だと約 5 円になる。

### ③醤油培養による不純物出現と除去実験

I3-1 株では、希釈醤油・砂糖添加培養で、PHB（白色沈殿）とは異なる半透明の粘性物質が大量に生成されていることが目視で確認でき、他の株でも同様に生成されている可能性が考えられた。塩基配列解析から I3-1 株は *Bacillus subtilis* とわかっており、納豆菌 (*Bacillus natto*) がダイズ（醤油の材料）からポリグルタミン酸を大量産生する現象が起こっていると推定された。この物質は本培養において不純物であり、不純物が多くなると精製のためのコストがかかるようになるため、経済的生産につながらない。そこで、タンパク質分解酵素による不純物の除去を行うことにしたが、予算の関係で試薬としての純粋な酵素ではなく、プロテアーゼを含む日用品を利用した。使用したのは、コンタクトレンズ洗浄液、消化薬（胃薬）、酵素入り洗剤である。粘性不純物を含む抽出 PHB を一度乾燥させ（抽出時のエタノールを蒸発させるため）、そこに各酵素含有商品の水溶液を加えて 37°C のインキュベータに入れておいたところ、いずれも 1 日後には液化していた。そこにエタノールを加えると PHB が白濁して出現したが、粘性不純物は消失していた。この結果から、プロテアーゼ処理で粘性不純物を除去できることが確認でき、コンタクトレンズ洗浄液、消化薬、酵素入り洗剤のいずれでも可能であった。商品による効果の差、最も効果的な不純物処理効率と PHB 収率については、今後さらに比較・検討を進めたい。

### ④経済的生産コストの計算

上記②で、培地の経費のみで生産コストを求めて約 1000 分の 1 の低コスト化ができたため、中間報告書にはそのように記載して提出したが、講評で「ラボスケールの研究で、ダイレクトにコスト計算するのではなく、収率やプロセスに要するエネルギーといった視点の評価をしっかりとしておくことが重要」、「コスト低減率の数字を再度確認して下さい」と指摘されたため、培地以外に必要な費用についても計算を試みた。

○インキュベータの電気料金：156W なので 1 日あたり約 100 円。増殖曲線から 7 日間培養とすると、容積 130 L なので培地 100mL あたり 7 日間の培養で、約 0.5 円。滅菌器や遠心分離機の電気料金等も含めて、1 円弱。

○菌体溶解用の水酸化ナトリウム：500 g が約 2000 円のを 0.5M 水溶液として培地 100mL あたり 8mL 使用するので、約 1 円。

○PHB 抽出用のエタノール：500mL が約 1000 円のを培地 100mL あたり 10mL 使用するので、約 20 円。

○不純物除去用の分解酵素：一番安価なものなら、培地 100mL あたり 1 円以下。

従って、培地以外の経費は、培地 100mL あたり約 22 円。培地 100mL あたりの PHB 収量は、マリネブロス培地だと 0.05 g なので 1 g だと培地 2000mL 相当、100 倍希釈醤油・スクロース 5% 添加培地だと 0.3 g なので 1 g だと培地 330mL 相当になる。PHB 収量 1 g あたりの培地費用はマリネブロス培地で約 4500 円、希釈醤油・砂糖添加培地で約 5 円である。よって、

＜マリンブロス培養＞ PHB 1 g あたり、 $\frac{4,500 \text{ 円} + 23 \text{ 円} \times 2,000}{100} = 10,100 \text{ 円}$

＜希釈醤油・砂糖添加培養＞ PHB 1 g あたり、 $\frac{5 \text{ 円} + 23 \text{ 円} \times 330}{100} = 81 \text{ 円}$

培地のみを経費だと醤油培養で約 1000 分の 1 のコストダウンになるが、総経費での計算だと約 125 分の 1 になる。また、工業生産においては、設備投資費や大量生産における原材料費、プラスチックに加工する際の添加剤の経費（可塑剤、難燃剤、酸化防止剤、紫外線吸収剤、着色剤）や成形費などについての費用算出も必要と考えられる。なお、石油系プラスチックの原価は 1g あたり 0.1 円～1 円なので、さらなるコストダウンが必要である。

## ⑤企業との連携

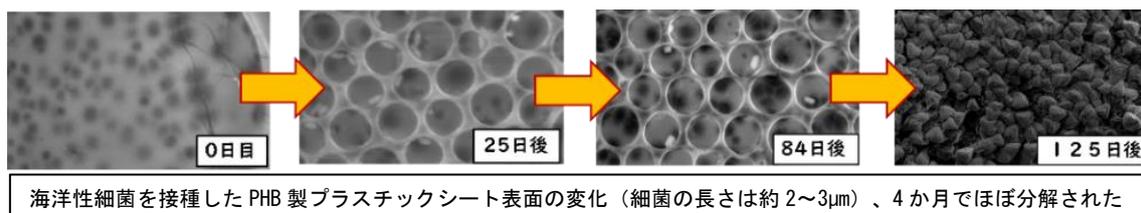
土壌細菌産生の PHBH による生分解性プラスチックを商品化している（株）カネカ高砂工業所（兵庫県）のアグリバイオ&サプリメント研究所を 8 月 8 日に訪問し、PHB の経済的な生産に有効な培養方法の助言を得た。また、PHB のプラスチック化には加工可能な温度幅が狭い（溶解温度 177℃、分解温度 185℃）という点で商品化に課題があることがわかった。カネカでは加工が容易な PHBH を利用しているが、商品として普及させるにはまだ高価である。



## （2）プラスチック分解性能の高い菌株と資化性のある菌株の探索

### ①PHB シートの生分解性

日本において生分解性プラスチックと認められるためには、「コンポスト中で 3 か月以内に 6 割以上が分解される」ことが必要である。そこで、本 PHB が要件を満たすのかを確認する実験を行った。海洋性細菌から抽出した PHB を試薬で処理してプラスチックシートに加工し、海洋性細菌を接種して培養した。その結果、次の電子顕微鏡写真のように PHB シートは徐々に分解されていき、約 4 か月後に完全に分解されたことから、海洋生分解性があることが確認された（土壌細菌でも同様の分解が確認されたが、海洋性細菌よりも長時間を要した）。写真の PHB シートの孔の中に見える粒子が分解中の海洋性細菌である（周囲に分解酵素を分泌し、分解産物を吸収して栄養分になっている）。



### ②土壌からのプラスチック分解菌の探索

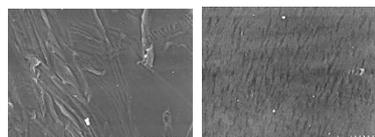
海洋中でのプラスチック分解には、土壌から流入するプラスチック分解菌も大きな影響を与えていると考えられる。そこで、土壌か



らのプラスチック分解菌が各種プラスチックにどのような影響を与えているのかについて検討を行った。液体培地中に5種類の材質別プラスチック板（PE・PP・PS・PVC・PET）とPHBシートを釣り下げて浸漬させ、そこに微量の土壌を加えて培養した。PHBシートではプラスチック板の表面に分解が見られることが明らかとなったが、材質別プラスチック板には大きな変化が見られなかった。

### ③朽ちたプラスチックからのプラスチック分解菌の探索

プラスチック分解菌は朽ちたプラスチック表面に存在すると考えられる。そこで、農場で朽ちたマルチ（ポリエチレン製の農業用プラスチックフィルム）の表面を探索し、PE分解能を有する新規菌株2株を発見した。しかし、PE以外のプラスチック



左：PE表面（最初は滑らかな状態）  
右：細菌接種1か月後（表面に分解による亀裂が多数見られる）



畑で朽ちた農業用マルチの断片（黒いシート片）

に対する分解能は見られない。なお、通常マルチの価格は1ロールで2千円台だが、生分解性マルチは1万円以上と高価であり、普及の妨げと

なっている。（農業科の先生によると「省力化にはなるが採算が取れない」とのことである。）

### ④プラスチック資化性菌の探索

培地の栄養分がなくてもプラスチックのみを栄養分にできる資化性細菌を探索できれば、閉鎖環境におけるプラごみ処理能力が向上する。そこで、ポリエチレンイミン（液体ポリエチレン）に微量の土壌を入れて培養中であるが、1か月以上経過しても細菌の増殖を示すような変化は見られない。

## （3）プラスチック分解菌の及ぼす環境影響の定量化

生分解性プラスチックが製品化・普及すれば、現在使われている石油系プラスチックとの代替が可能になり、マイクロプラスチックの削減につながると考えられる。そこで、マイクロプラスチックが与えている環境影響を定量化し、プラスチック分解菌の利用による環境負荷低減の度合いを定量化することを試みるべく、野外でマイクロプラスチック調査を実施した。

### ①水田の用水路調査

本校は15年前まで農業高校だったため校内に水田があり、プラスチック被覆の徐放性肥料カプセルを田植え時に散布している。そこで自作の採集装置を用水路に設置し、カプセルの流出量を継続的に測定した。その結果、田植えの1か月後か



用水路の採集装置



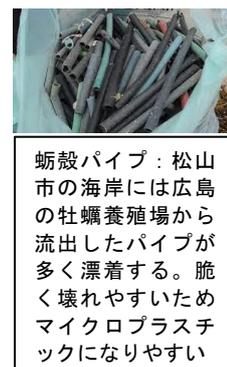
空の肥料カプセル

ら空になったカプセルの流出が始まり、通常は水田からの水の流出がないため、雨天時のカプセルの流出が大きいことがわかった。また、今回の調査を基に全国の水田に散布されるカプセルのプラスチックのみの量を試算すると、1年間に約1万トンものポリエチレン散布になることが明らかとなった。

時期	前日の天気	当日の天気	カプセル採集
田打ち後2日	曇り	雨・曇り	+ (流出)
田植え翌日	少雨・曇り	曇り	-
田植え後半月	晴れ	晴れ	-
田植え後20日	雨・曇り	晴れ・曇り	+ (流入)
田植え後1か月	曇り	晴れ・少雨	-
田植え後40日	曇り	雨	+ (流出)

## ②海岸マイクロプラスチック調査

松山市の梅津寺海水浴場で海浜に漂着しているマイクロプラスチックを定期的に調査した。満潮位の砂浜0.1m<sup>2</sup>・深さ1cmの砂1Lをバケツの海水に入れ、浮いてきた5mm以下のプラスチックを継続して採集したところ、1m<sup>2</sup>あたりのマイクロプラスチックの個数は20個～2万個と季節変動が大きかった。特に大雨の後に陸水からの流入で数量が急激に増加し、台風等で海が荒れると発泡スチロールが砕けて数量が増加する。1月までの調査結果は次の表のようになった。



蛎殻パイプ：松山市の海岸には広島市の牡蠣養殖場から流出したパイプが多く漂着する。脆く壊れやすいためマイクロプラスチックになりやすい

梅津寺海岸0.1m<sup>2</sup>あたりのマイクロプラスチック数の変化

種類	月/日	4/30	5/9	7/3	7/10	8/5	8/27	9/10	9/24	10/8	11/6	12/20	1/9
徐放性肥料カプセル		0	0	3	5	166	150	231	150	11	0	0	16
発泡スチロール		0	0	1	3	554	1173	1500	1285	107	87	0	944
人工芝の破片		1	0	0	1	2	74	77	5	1	0	7	7
その他		4	2	11	15	28	84	90	20	3	2	2	47

稲刈り

大雨

大雨

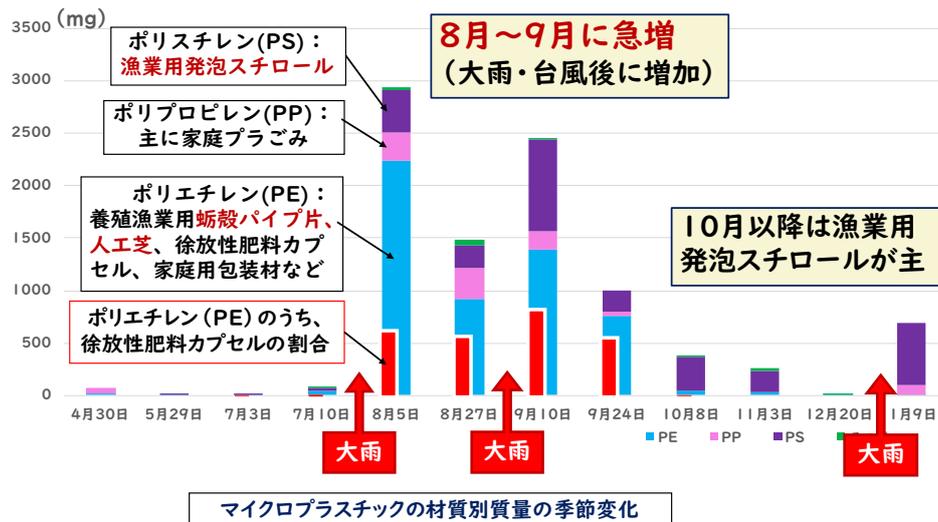
大雨

既報のシミュレーションでは、松山市の海岸は冬の北風で広島からのマイクロプラスチックが増えるという報告があったが、それとは正反対の調査結果となった。その理由は、調査地点である梅津寺海岸の沖（北側）に興居島が存在するため、広島からの漂着がブロックされているためであると考えられる。一方、季節を問わず雨天後に急増することから、松山市内の河川から流入する陸水系のマイクロプラスチックの影響が大きいことがわかる。位置的に、松山平野を流れる重信川（一級河川）から流入したプラスチックが、夏の南風によって海岸を北上し（途中に漁港あり）、湾曲した梅津海岸で蓄積するためではないだろうか。徐放性肥料カプセルは田植えの2か月後から肥料が溶出して空になったものが急増し、水田の水が無くなった稲刈り後に急減する。発泡スチロールは漁業由来が多く、海が荒れたときに急増する。



1月9日は1mサイズの漁業用大型フロートが漂着しており、周囲の海岸の発泡スチロール片が急増していた

生分解性製品化が望まれるプラスチックを検討するため、FT-IR（フーリエ変換赤外線分光法）で採集したマイクロプラスチックの材質分析を行ったところ、次のような結果となった。



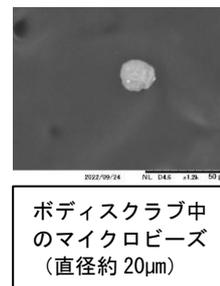
マイクロプラスチックの材質別質量の季節変化

家庭プラスチック由来よりも漁業・農業などの産業系プラスチック由来が占める割合が多く、夏・雨天後に急増する

8月から9月にかけてポリエチレンとポリスチレンが急増しており、7月下旬と9月上旬の大雨の影響が出ていると考えられる。ポリエチレンの多くは養殖漁業用蛎殻パイプの破片と農業用カプセルおよび人工芝の破片であり、ポリスチレンの多くは漁業用発泡スチロール（フロートやトロ箱の破片）であった。家庭プラスチックに多いポリプロピレンはそれらに対して比較的少ない。雨天後に増えることから陸水由来のものが多くとわかる。以上から、瀬戸内海における産業系プラスチックの影響の大きさが明らかとなった。そこには産業用プラスチックの流出時期が偏っていることと、材質が脆く破砕されやすい（マイクロ化しやすい）ことも理由として考えられ、台風などで海が荒れた直後は蛎殻パイプの破片と発泡スチロール片が急増した。10月以降は急減するが、雨天直後の1月の採集データで発泡スチロールが急増したことから、夏場と雨天時に重点的な対策を立てる必要性を感じた。具体的には、流出を阻止できない小型プラスチック製品をPHB製の海洋生分解性にするのと、漁業用のプラスチック製品を流出しにくく壊れにくい構造にすることを提案したい。また、調査した2022年は雨が少ない空梅雨だったので、5~7月のデータが例年とは異なっている可能性もある。今後は、海底に沈んでいる比重1.03以上のマイクロプラスチックの調査も行いたい。

### ③PHBの生分解性プラスチック製品化に向けて

瀬戸内海では漁業や農業などの地元の産業がマイクロプラスチック汚染に占める大きさが顕著である。そこでPHBの利用に農業用カプセルへの応用を提案する。現在利用されているポリエチレンは水に浮くので海に流出してマイクロプラスチック化するが、PHBは水に沈むので水田から流出しにくい。沈んだ後は土壤中で生分解され、元が細菌の貯蔵栄養



ボディスクラブ中のマイクロビーズ (直径約20µm)

分なので生物に無害な物質である。肥料カプセルの生分解性化については、コスト面と耐久性（散布後2～3 か月は徐放性が必要）から直ちに商品化することは難しいが、さらにコストダウンを図って実用化に近づけたい。また、スクラブ系マイクロビーズへの利用も考えられるので、今後検討したい。

#### （４）啓発活動への取組と成果

生分解性プラスチックの利用の普及には、コストダウンや耐久性の向上の他にも、一般社会でのプラスチック製品の環境負荷に関する理解が影響を与えると考えられる。そこで、高校生や市民への環境意識調査、中学生への出張講義、シンポジウムでの発信、松山市環境フェアへの出展、啓発冊子「プラガールズ・マガジン」の発行などを通して、プラスチック製品の環境負荷に関する啓発活動を行った。また、放送番組への出演など、メディアを通じた情報発信にも務め、2022年は10以上の放送番組に出演し、新聞や雑誌にも掲載された。現在も数社からの取材依頼を受けている。校内でも私たちの活動が刺激となって、制服リユースやフードドライブ、コンタクトケース回収、農場での資源循環型農業の取り組みなどのサステイナブルな活動が盛んになっている。クラスメートも私たちに触発されて、日本財団「海と日本プロジェクト」の「スポGOMI 甲子園」に出場して2年連続で愛媛県代表になり、全国大会で昨年度は優勝、今年度は準優勝と好成績であった。今年度は本校の農業科で、実際に生分解性マルチの試験利用を行い、その効果や利用状況の調査をしているが、コスト面が最大の課題となっている。



#### 5. 活動状況と創意工夫した点

おおむね順調であるが、メンバーが新型コロナウイルスに感染したり、家族が感染して濃厚接触者になったりと、自宅待機になる者が次々と出たため、実験や調査を予定通りに行うには少々時間不足であった。発表会の直前に担当者が自宅待機になり、急遽メンバーチェンジが必要になったことも何度かあった。そんな中で、オンラインで情報交換を行いながら発表資料を作成したり、休日を活用して海岸調査に出向いたり、長期休業中に自費で県外の企業を訪問しに行ったり（平日しか開いていないため）、大学の研究者を訪ねたりと、工夫して時間を有効に活用することができたと思う。専門家や企業の方に積極的に意見を求め、研究の発展を目指した活動を行うことができた。また、限られた予算の中で、工夫を凝らした実験ができたと思う。

#### 6. メンバーが学んだこと

環境問題の解決には、自分たちが研究を行うだけでなく、様々な人と連携し、その活動を社会に広げることが大切だと実感した。自分たちの持つ知識だけでは研究の考察は不十分だったが、様々な方に協力していただくうちに、研究に対する理解が深まった。そして、最

大の目標である「海洋マイクロプラスチック汚染の解決」のためには、今後もこの活動を続け、世界に広めることが必要となる。その準備段階として、研究を進めていくことはもちろん、シナジーにつながるような人脈も広げて行きたいと思う。この活動を通して、「研究のおもしろさ」と「発表の楽しさ」を体験することができたのがよかった。

## 7. 今後の展開、課題

この研究テーマはすぐに解決するような単純な問題ではない。そのため、今後も生分解性プラスチックのコストダウンにつながるよう研究を続け、後輩に引き継いで行きたい。また、マイクロプラスチック汚染の野外調査結果は、マスメディアや一般市民に届きやすい啓発につながるのので、これからも情報発信に取り組んで行きたい。今後の課題は、企業や大学と連携した取り組みに発展させ、社会実装を目指すことである。また、大学進学後もテーマは異なっても研究を続け、将来は環境を守っていける社会人になりたい。

## 8. まとめ

- ・海洋性細菌由来の海洋生分解性プラスチック生産において、希釈醤油・砂糖添加培地を用いる培養による低コスト化の可能性を見いだせた。
- ・地元の海岸におけるマイクロプラスチック調査を通して、季節や天候による変動から対策に必要な取り組みのポイントが見えてきた。
- ・いろいろな方々との連携を進め、イベントやメディアを通じた情報発信に努めることで、さまざまな啓発活動に取り組むことができた。

## 9. 謝辞・参考資料

### ○謝辞

- ・4月～ (株)リバネス「マンチャレンジプログラム」中四国ブロックに採択され、リモートでご指導を受けています。
- ・4月～、課題研究で愛媛大学工学部・日向博文教授のご指導のもと、マイクロプラスチックの材質分析をさせていただいています。
- ・4月～ 日本財団「瀬戸内オーシャンズX」海洋環境デザイン教育プログラムで3710Labからリモートでご指導を受けています。
- ・7月～11月、(株)日立ハイテク「理科教育支援プログラム」に採択され、卓上小型電子顕微鏡の無償貸与をしていただきました。
- ・7月、ECオーシャンズの岩田代表から、調査へのご協力とご助言をいただきました。
- ・7月、愛南漁協の立花組合長から、調査へのご協力とご助言をいただきました。
- ・8月、長浜バイオ大学の小倉淳教授を訪問して、ご指導・ご助言をいただきました。
- ・8月、(株)カネカの研究リーダー・佐藤俊輔様を訪問して、ご指導・ご助言をいただきました。

- ・8月、愛媛大学沿岸環境科学研究センター・野見山桂淳教授を訪問し、ご指導・ご助言をいただきました。また、12月に鯨類の解剖を見学させていただきました。
- ・10月、松山市環境部の石丸梨香様から「まつやま環境フェア」への出展にあたり、たいへんお世話になりました。
- ・愛媛県環境局の高村靖課長からいろいろなご配慮をいただきました。
- ・日本財団「瀬戸内オーシャンズX」主任研究員の塩入同様からいろいろなご配慮をいただきました。
- ・国連大学サステナビリティ高等研究所の竹本明生様と丸山鳴様から国際的な情報発信に向けていろいろなご配慮をいただきました。
- ・さまざまなコンテストや発表会でご助言いただいた皆様、ありがとうございました。
- ・アンケートに答えていただいた本校の生徒、保護者、教職員の皆様、松山環境フェアでのアンケート調査にご協力いただいた松山市民の皆様、ありがとうございました。
- ・情報発信をさせていただいた放送局、新聞社、雑誌出版社の皆様感謝いたします。

#### ○参考資料

- ・「微生物による生分解性ポリマーPHBH製造法の開発」生物工学第97巻第2号（2019）
- ・「天然型高分子PHBHの材料化」工業材料Vol.68 No.10（2020年10月号）
- ・令和3年度愛媛県海洋プラスチックごみ実態把握調査報告書（2022）愛媛県HP
- ・「特許公報(B2)第5887062号」（2016）海洋研究開発機構・信州大学・東京海洋大学
- ・「持続可能社会をつくるバイオプラスチックーバイオマス材料と生分解性機能の応用化と普及に向けて」（2020）日本化学会編(化学同人)
- ・「脱炭素時代のグリーン材料 バイオプラの教科書」（2021）小松道男(日経BP)
- ・日本バイオプラスチック協会「生分解性プラスチック入門」、「バイオプラスチック入門」
- ・JSTnews2014年10月「生分解プラの大量生産『微生物工場』で成功」
- ・国立環境研究所HP 環境展望台「環境技術解説・生分解性プラスチック」
- ・独立行政法人製品評価技術基盤機構HP（2020）「プラスチックと微生物」
- ・日本化学会HP(2020)「プラスチックによる海洋汚染対策としての生分解性プラスチック」
- ・「海洋生分解性プラスチック開発・導入普及ロードマップ」（2019）経済産業省 産業技術環境局・製造産業局HP
- ・「バイオプラスチック導入ロードマップ～持続可能なプラスチックの利用に向けて～」（2021）環境省、経済産業省、農林水産省、文部科学省
- ・「TSC Foresight Vol.36 バイオプラスチック分野の技術戦略策定に向けて」（2019）国立研究開発法人 新エネルギー・産牛技術総合開発機構
- ・「身近なプラスチックがわかる」（2020）技術評論社
- ・「海洋プラスチック汚染ー『プラなし』博士、ごみを語る」（2019）中嶋亮太(岩波書店)
- ・「愛媛高校理科」第57号(2020)「愛媛県の海岸におけるマイクロプラスチックの汚染調

- 査」愛媛県立東温高校・曾根伸(愛媛県高教研理科部会)
- ・「科学的に見るSDGs時代のごみ問題」(2019) 松藤敏彦 (丸善出版)
  - ・「バイオプラスチックを作る3つの方法」wikiHow 編集チーム
  - ・「脱プラスチックへの挑戦」(2019) 堅達京子+NHK取材班 山と溪谷社
  - ・「海岸域におけるマイクロプラスチックの調査手法の確立」静岡県環境衛生科学研究所環境科学部
  - ・「図解でわかる 14歳からのプラスチックと環境問題」(2019) インフォビジュアル研究所 太田出版
  - ・「基礎からわかる!SDGs」(2021) メディアックス
  - ・「海洋ごみをめぐる最近の動向」(2018) 環境省
  - ・「ど~する海洋プラスチック」(2019) 西尾哲茂 信山社
  - ・日本農芸化学会誌「化学と生物」(2020~2022)