

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」

## 2023年度 研究活動報告書

### 研究課題名

「プラスチックを餌として飼育したミールワームの腸内細菌を利用したプラごみ処理技術の開発」

研究分野 ■化学物質 ■生物・バイオ ■環境

研究チーム名（人数） 理科部プラガールズ（8名）＜3年生2名は受験のため8月で引退＞  
（高校名） （愛媛大学附属高等学校）

研究メンバー 門田未来（2年） 蔵野美結（2年） 廣江実采（2年）  
森川茉奈（1年） 垣内庵而（1年） 竹ノ内暁栞（1年）  
村上陽向（3年） 近藤百々花（3年） ＜3年生の活動は8月まで＞

指導教員名（担当教科） 中川和倫（理科・生物）

### 研究背景、目的

本研究では海洋マイクロプラスチック汚染問題の解決を目指し、昨年度まで「海洋性細菌による海洋生分解性プラスチックの経済的生産技術の開発」に取り組んで来た（昨年度の本プログラム成果発表会で報告）。ただし、これは今後出て行くプラスチック対策であり、すでに出ているプラスチック排出物の対策にはならない。海洋プラごみは劣化や付着物、塩分含有によってリサイクルが困難であるという背景から、環境負荷の大きい焼却や埋立処分が中心である。そこで、回収されたプラごみをプラスチック分解菌の酵素で分解処理する技術の開発を目的とした。土壌からのプラスチック分解菌の探索は困難であったため、発泡スチロールを食べて生育できることで有名なミールワーム（ゴミムシダマシの幼虫）に着目し、その腸内細菌からプラスチック分解菌を探索することにした。

### 【活動概要】

#### (1) 出前講義

<本研究テーマに関して>

①日時：2023年9月8日（金）17時00分～17時55分

場所：愛媛大学工学部（日向研究室）

講義題目：「課題研究発表会に向けたデータのまとめ」

講師：日向博文教授（愛媛大学大学院理工学研究科）

備考：研究室の技術員・古川鉦子様、研究員・佐川奈緒様からも別途指導を得た



①日向教授と

②日時：2023年11月1日（水）16時30分～17時15分

場所：愛媛大学附属高等学校生物室（オンライン）

講義題目：「硫黄プラスチック利用の共同研究の打合せ」

講師：小林裕一郎助教（大阪大学大学院理学研究科）

備考：8月に参加した「超異分野学会 in 大阪」で共同研究の打診があった

③日時：2024年2月10日（土）19時00分～20時50分

場所：ホテル阪神大阪（レストラン）

講義題目：「硫黄プラスチック食ミールワームの生育データ分析」

講師：小林裕一郎助教（大阪大学大学院理学研究科）、研究室の学生2名

備考：「第13回毎日地球未来賞」表彰式後にホテルでミーティングを行った



③小林准教授と

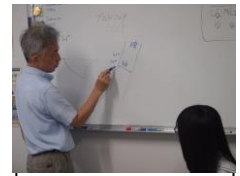
### <本研究テーマ以外に関して>

④日時：2023年8月8日（火）14時00分～16時30分

場所：名古屋工業大学（神取研究室）

講義題目：「微生物型ロドプシンの基礎と応用」

講師：神取秀樹教授（名古屋工業大学）



④神取教授と

⑤日時：2023年9月6日（水）17時00分～18時00分

場所：愛媛大学附属高等学校生物室（オンライン）

講義題目：「微生物型ロドプシン研究の実際」

講師：中嶋亮太先生（海洋研究開発機構）<（株）リバネス「マリンチャレンジプログラム指導」>

備考：「マリンチャレンジプログラム 2023」のオンライン指導は、2023年4月23日（日）、5月10日（水）、6月13日（火）、7月7日（金）、7月14日（金）、9月6日（水）、10月19日（木）、11月30日（木）、2024年1月15日（月）、1月29日（月）、2月7日（水）にも各1時間実施

⑥日時：2023年12月22日（金） 13時30分～18時30分

場所：岡山大学薬学部（須藤研究室）

講義題目：「微生物型ロドプシン研究の実際」

講師：須藤雄気教授（岡山大学薬学部）



⑤須藤教授と

⑦日時：2024年2月14日（水）17時10分～18時20分

場所：松山大学薬学部（田母神研究室）

講義項目：「微生物型ロドプシン研究について」

講師：田母神淳准教授（松山大学薬学部）

### （2）見学—施設見学—現場見学 等

#### <本研究テーマに関して>

①日時：2023年6月16日（金）、6月23日（金）、9月8日（金）、9月15日（金）、11月28日（火）、2024年2月7日（水）各13時50分～16時00分

場所：愛媛大学工学部（日向研究室）

見学の目的：FT-IR（フーリエ変換赤外線分光法）によるプラスチックの分析



①FT-IR 測定

②日時：2023年12月2日（土）9時00分～17時00分、2024年1月18日（木）13時30分～17時00分、2月12日（月）13時00分～15時00分

場所：愛媛大学教育学部（理科教育研究・電子顕微鏡室）

見学の目的：電子顕微鏡によるプラスチック分解表面と分解菌の菌体観察



②電子顕微鏡

#### <本研究以外の研究テーマに関して>

③日時：2023年4月23日（日）、5月20日（土）、6月17日（土）、7月9日（日）、8月4日（金）、8月19日（土）、9月3日（日）、9月18日（月）、10月15日（日）、11月4日（土）、12月16日（土）、2024年1月13日（土）、1月27日（土）、2月12日（月）、3月16日（土）、各2時間

場所：松山市梅津寺海水浴場ほか

見学の目的：海岸漂着マイクロプラスチック調査、プランクトン採集

④日時：2023年6月4日（日）、9月2日（土）各9時00分～15時00分

場所：伊予灘、広島湾（愛媛大学調査実習船「いさな」乗船）

見学の目的：海底に沈降しているマイクロプラスチックの調査



④海底プラ調査

⑤日時：2023年7月22日（土）9時00分～12時00分

場所：愛媛県立長浜高等学校

見学の目的：愛媛県高文連の発表会後に長浜高校水族館部の活動見学

備考：水族館部顧問・重松洋教諭による講演あり

⑥日時：2023年7月30日（土）14時00分～17時00分

場所：サポーランドパーク始良、鹿児島県工業技術センター

見学の目的：第47回全国高校総合文化祭自然科学部門の巡検コースとして参加

⑦日時：2023年8月8日（火）14時00分～16時30分

場所：名古屋工業大学（神取研究室）

見学の目的：神取秀樹教授の研究室で微生物型ロドプシン研究の見学

⑧日時：2023年9月3日（日）9時00分～17時00分

場所：愛媛大学工学部（日向研究室）

見学の目的：海底から採取した泥中からのマイクロプラスチックの抽出実験

⑨日時：2023年9月17日（日）11時00分～15時00分

場所：愛媛県南宇和郡愛南町御荘湾

見学の目的：漂着している漁業プラスチックの流出実態調査（テレビ取材同行）

⑩日時：2023年10月14日（土）14時00分～16時00分

場所：愛媛県立今治西高等学校（生物室）

見学の目的：(株)日立ハイテクから無償貸与中の卓上小型走査型電子顕微鏡使用

⑪日時：2023年12月22日（金）13時30分～18時30分

場所：岡山大学薬学部（須藤研究室）

見学の目的：須藤雄気教授の研究室で微生物型ロドプシン研究の見学

⑫日時：2023年12月23日（土）16時00分～17時00分

場所：岡山理科大学（選択コースによる各研究室）

見学の目的：コンテスト後の研究室見学ツアーに参加

⑬日時：2024年2月14日（水）17時10分～18時20分

場所：松山大学薬学部（田母神研修室）

見学の目的：田母神淳准教授の研究室で微生物型ロドプシン研究の見学

⑬日時：2024年2月14日（水）17時10分～18時20分

場所：松山大学薬学部（田母神研修室）

見学の目的：田母神淳准教授の研究室で微生物型ロドプシン研究の見学

⑭日時：2024年3月9日（土）14時00分～15時50分

場所：東京大学（柏キャンパス）環境棟環境リスク評価学実験室見学、大島義人教授の特別講演



⑦名古屋工業大学・神取研究室



⑨海岸プラ調査



⑪岡山大学薬学部・須藤研

### （3）研究成果の発表

#### <本研究テーマに関して>

①日時：2023年8月5日（土）9時30分～17時30分

発表の場：(株)リバネス「超異分野学会 in 大阪フォーラム 2023」（大阪市）

発表題目：「プラ食のミールワームの腸内細菌を利用したプラスチック汚染対策」

発表形態：□口頭発表 ■ポスター発表 ■その他（ショートピッチ）

発表者名：村上陽向、近藤百々花（3年）

受賞等：なし（大学や企業の複数の研究者から共同研究の打診あり）

備考：マイクロプラスチック研究でもポスター発表に参加

②日時：2023年8月6日（日）10時00分～16時00分

発表の場：愛媛県総合科学博物館「第9回中高生のための科学研究プレゼンテーション大会」ポスター部門（愛媛県総合科学博物館・会場）

発表題目：「プラスチックを餌に飼育したミールワームの腸内細菌を利用したプラスチック分解処理技術の開発」



①超異分野学会 in 大阪



②愛媛県科博研究プレゼン大会

発表形態：□口頭 ■ポスター □その他（ ）

発表者名：村上陽向（3年）、近藤百々花（3年）

受賞等：愛媛県知事賞

備考：マイクロプラスチック研究でステージ部門に出場し、愛媛県教育長賞

③日時：2023年9月8日（金）13時00分～15時10分

発表の場：「課題研究Ⅱ成果発表会」（校内研究発表会）

発表題目：「プラ食ミールワームの腸内細菌からのプラスチック分解菌・資化性菌の探索」

発表形態：■口頭発表 □ポスター発表 □その他（ ）

発表者名：村上陽向（3年）、近藤百々花（3年）

④日時：2023年9月20日（水）10時00分～15時00分

発表の場：令和5年度 愛附祭（校内文化祭）

発表題目：「プラガールズの活動紹介」内

発表形態：□口頭発表 ■ポスター発表 ■その他（資料展示）

発表者名：門田未来（2年）、ほか4名

備考：研究内容全般について展示・対面説明

⑤日時：2023年11月16日（木）論文審査結果の通知（賞状は12月10日付）

発表の場：朝日新聞社「第21回高校生・高専生科学技術チャレンジJSEC2023」

発表題目：「プラスチックを餌に飼育したミールワームの腸内細菌を利用したプラスチック分解技術の開発」（8月までの実験データによる論文）

発表形態：□口頭発表 □ポスター発表 ■その他（論文）

発表者名：村上陽向（3年）、近藤百々花（3年）、門田未来（2年）

受賞等：佳作

⑥日時：2023年12月12日（火）9時00分～12時25分

発表の場：「令和5年度 第2回愛附コンテスト」（校内研究発表会）

発表題目：「プラスチックを餌に飼育したミールワームの腸内細菌によるプラスチックの分解」

発表形態：■口頭発表 □ポスター発表 □その他（ ）

発表者名：門田未来（2年）、森川茉奈（1年）

受賞等：最優秀

備考：同じ理科部のマツカサガイ保全班は優秀を受賞

⑦日時：2023年12月21日（木）12時50分～13時30分

発表の場：令和5年度愛媛県高等学校教育研究大会理科部会生物部門生徒ポスターセッション（愛媛県立松山東高等学校）

発表題目：「プラスチックを餌に飼育したミールワームの腸内細菌によるプラスチックの分解」

発表形態：□口頭発表 ■ポスター発表 □その他（ ）

発表者名：門田未来（2年）、森川茉奈（1年）

⑧日時：2023年12月23日（土）9時30分～18時00分

発表の場：（株）リバネス・中国銀行・山陽新聞社「サイエンスキャッスル 2023 中四国大会」（岡山理科大学・会場）

発表題目：「プラスチックを餌に飼育したミールワームの腸内細菌によるプラスチックの分解」

発表形態：■口頭発表 □ポスター発表 □その他（ ）

発表者名：門田未来（2年）、森川茉奈（1年）



③課題研究Ⅱ成果発表会



④愛附祭の展示



⑥第2回愛附コンテスト



⑧サイエンスキャッスル中四国



受賞等：最優秀賞

備考：微生物型ロドプシン研究でもポスター部門で発表

⑨日時：2024年2月3日（土）13時00分～17時00分（エントリー中）

発表の場：ノートルダム清心女子中学・高校「集まれ！理系女子第15回女子生徒による科学研究発表会－オンライン大会 全国大会－

発表形態：「プラ食ミールワームの腸内細菌を利用したプラごみ分解技術の開発」

発表形態：■口頭発表（オンライン） □ポスター発表 □その他（ ）

発表者名：森川茉奈、竹ノ内暁葉（1年）

⑩日時：2024年2月4日（日）10時00分～17時00分

発表の場：愛媛大学・愛媛県教育委員会「えひめサイエンスチャレンジ 2023 一般部門」（愛媛大学グリーンホール・第1体育館）

発表形態：「プラ食ミールワームの腸内細菌によるプラごみ分解処理」

発表形態：■口頭発表（1分紹介） ■ポスター発表 □その他（ ）

発表者名：門田未来（2年）、森川茉奈（1年）

受賞等：優秀賞

⑪日時：2024年3月9日（土）10時00分～12時00分

発表の場：日本生物教育学会四国支部大会「児童・生徒による発表」（愛媛大学教育学部）

発表題目：「プラスチックを餌に飼育したミールワームの腸内細菌によるプラスチックの分解」

発表形態：□口頭発表 ■ポスター発表 □その他（ ）

発表者名：竹ノ内暁葉、垣内庵而（1年）

受賞等：奨励賞

備考：微生物型ロドプシン研究でもポスター発表

⑫日時：2024年3月10日（日）9時00分～15時00分

発表の場：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」2023年度成果発表会（東京大学本郷キャンパス工学部）

発表題目：「プラスチックを餌として飼育したミールワームの腸内細菌を利用したプラごみ処理技術の開発」

発表形態：■口頭発表 □ポスター発表 □その他（ ）

発表者名：村上陽向（3年）、門田未来（2年）、森川茉奈（1年）

受賞等：最優秀賞

#### <本研究以外の研究テーマに関して>

⑬日時：2023年5月13日（土）14時00分～16時30分

発表の場：「生物系三学会 2023 中国四国支部大会・高校生ポスター発表会」（オンライン）

発表題目：「海洋性細菌産生による生分解性プラスチックの経済的生産」

発表形態：□口頭発表 ■ポスター発表（リモート） □その他（ ）

発表者名：村上陽向（3年）

受賞等：優秀賞

⑭日時：2023年5月31日（水）9時00分～15時30分

発表の場：日本環境化学会「第18回高校環境化学賞」決勝（徳島市・あわぎんホール：徳島県郷土文化会館）

発表題目：「海洋マイクロプラスチック汚染解決に向けた実態調査と海洋生分解性プラスチックの経済的生産方法の開発」<昨年度 REHSE 発表テーマ>

発表形態：□口頭発表 ■ポスター発表 □その他（ ）

発表者名：村上陽向（3年）、近藤百々花（3年）



⑭高校環境化学賞(主催学会場)

受賞等：最優秀賞・松居記念賞

備考：同じ理科部のマツカサガイ保全班も決勝に出場し、奨励賞を受賞

⑮日時：2023年6月15日（木）9時00分～12時30分

発表の場：「令和5年度 第1回愛附コンテスト」（校内研究発表会）

発表題目：「松山市沿岸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」

発表形態：■口頭発表 □ポスター発表 □その他（ ）

発表者名：門田未来（2年）

受賞等：優秀賞

備考：同じ理科部のマツカサガイ保全班が最優秀賞を受賞

⑯日時：6月24日（土）14時00分～16時00分

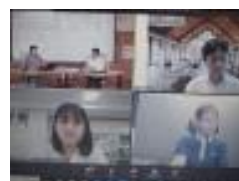
発表の場：京都大学大学院「京都大学 SDGs 問答」（オンライン）

発表題目：「海洋プラスチック汚染問題解決へ向けた対策と啓発活動」

発表形態：■口頭発表（オンライン） □ポスター発表 □その他（ ）

発表者名：村上陽向（3年）＜主催者からの依頼で参加＞

備考：北海道大学、東北大学、京都大学の教員と相互発表・質疑応答・討論



⑯京都大学大学院 SDGs 問答

⑰日時：2023年7月22日（土）9時00分～12時00分

発表の場：愛媛県高文連自然科学専門部・科学研究研修会（愛媛県立長浜高等学校）

発表題目：「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」

発表形態：□口頭発表 ■ポスター発表 □その他（ ）

発表者名：村上陽向、近藤百々花（3年）

備考：全国高等学校総合文化祭出場校の県内リハーサル

⑱日時：2023年7月29日（土）13時00分～18時00分、30日（日）9時00分～12時00分（13時00分～18時30分は巡検）、31日（月）9時00分～13時00分

発表の場：全国高文連「第47回全国高等学校総合文化祭自然科学部門」ポスター発表部門（鹿児島大学・発表会場、谷山サザンホール・表彰式会場）＜2022年11月の愛媛県大会で自然科学部門の総合最優秀：愛媛県代表としてポスター部門に出場＞

発表題目：「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」

発表形態：□口頭発表 ■ポスター発表 □その他（ ）

発表者名：村上陽向、近藤百々花（3年）

受賞等：奨励賞（4～8位）

備考：同じ理科部の地学班が地学部門で愛媛県代表として出場



⑱全国高校総合文化祭自然科学

⑲日時：2023年8月5日（土）9時30分～17時30分

発表の場：(株)リバネス「超異分野学会 in 大阪フォーラム 2023」（大阪市）

発表題目：「松山市沿岸のマイクロプラスチック汚染の実態調査とその対策」

発表形態：□口頭発表 ■ポスター発表 □その他（ ）

発表者名：門田未来、廣江実采（2年）

備考：本事業研究テーマのミールワーム腸内細菌研究でもポスター発表

⑳日時：2023年8月6日（日）10時～16時

発表の場：愛媛県総合科学博物館「第9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」ステージ部門（愛媛県総合科学博物館・会場）

発表題目：「松山市の海岸における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 □ポスター発表 □その他（ ）

発表者名：門田未来（2年）、廣江実采（2年）

受賞等：愛媛県教育委員会教育長賞

備考：本事業研究テーマのミールワーム腸内細菌研究はポスター部門で愛媛県知事賞を受賞

②①日時：2023年8月9日（水）11時00分～17時30分

発表の場：(株)リバネス・JASTO・日本財団「マリンチャレンジプログラム  
2023 中国・四国地方大会」（岡山市）

発表題目：「光エネルギーを利用した海洋性細菌の色素変化」

発表形態：■口頭発表（審査） ■ポスター発表（生徒交流） □その他（ ）

発表者名：門田未来、廣江実采、蔵野美結（2年）

受賞等：優秀賞（2月の全国大会出場が決定）



②①マリンチャレンジ中国・四国

②②日時：8月9日（水）13時00分～17時00分（オンライン発表）

発表の場：日本化学会「第16回環境教育講演会（シンポジウム）未来をつくる環境&化学教育」

発表題目：「海洋性細菌を利用した海洋マイクロプラスチック汚染の解決に向けて」

発表形態：■口頭発表（オンライン） □ポスター発表 □その他（ ）

発表者名：村上陽向（3年）＜主催者からの依頼で発表：高校生代表3人＞

②③日時：2023年9月22日（金）、23日（土）10時00分～15時30分

発表の場：「令和5年度 課題研究I 成果発表会」（必修授業の研究発表会・愛媛大学ミュージズで開催）

発表題目：「瀬戸内海のプラスチック汚染対策～海の問題を解決するために」

発表形態：□口頭発表 ■ポスター発表 □その他（ ）

発表者名：門田未来、蔵野美結（2年）

備考：2024年2月3日開催の課題研究代表者発表会（7件）に選出



②③課題研究I 成果発表会

②④日時：2023年12月6日（水）17時30分～18時30分

発表の場：愛媛県高文連「第37回愛媛県高等学校総合文化祭」自然科学部門化学分野（対面開催中止・延期によるオンライン開催）

発表題目：「海洋性細菌のプロテオロドブシン発色の研究」

発表形態：□口頭発表 ■ポスター発表（オンライン） □その他（ ）

発表者名：門田未来（2年）

備考：2023年11月18日に対面開催の予定だったが荒天で中止になり、延期オンライン開催。本研究チームは地学分野にも出場、理科部の他の研究チームは物理部門、生物部門、地学部門に参加

②⑤日時：2023年12月9日（土）13時30分～15時30分

発表の場：愛媛県高文連「第37回愛媛県高等学校総合文化祭」自然科学部門地学分野（対面開催中止・延期によるオンライン開催）

発表題目：「松山市の海岸におけるマイクロプラスチック汚染の実態」

発表形態：□口頭発表 ■ポスター発表（オンライン） □その他（ ）

発表者名：垣内庵而、森川茉奈（1年）

備考：②の備考欄と同じ（理科部から5研究が予備選考を通過して出場）

②⑥日時：2023年12月21日（木）12時50分～13時30分

発表の場：令和5年度愛媛県高等学校教育研究大会理科部会生物部門生徒ポスターセッション（愛媛県立松山東高等学校）

発表題目：A「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」

B「海洋性細菌の微生物型ロドブシン発色の研究」

C「松山市の海岸におけるマイクロプラスチック汚染の実態」

発表形態：□口頭発表 ■ポスター発表 □その他（ ）

発表者名：A 近藤百々花（3年）、B 蔵野美結・廣江実采（2年）、C 竹ノ内暁葉・垣内庵而（1年）

備考：本プログラム「ミールワーム腸内細菌によるプラスチック分解」でもポスター発表

⑳日時：2023年12月23日（土）9時30分～18時00分

発表の場：(株)リバネス・中国銀行・山陽新聞社「サイエンスキャッスル 2023 中国四国大会」（岡山理科大学・会場）ポスター部門

発表題目：「海洋性細菌の微生物型ロドプシン発色の研究」

発表形態：□口頭発表 ■ポスター発表 □その他（ ）

発表者名：蔵野美結（2年）、竹ノ内暁葉、垣内庵而、森川茉奈（1年）

備考：口頭発表（決勝）に出場した本プログラムの研究テーマが最優秀賞を受賞



㉗サイエンス  
キャッスル

㉑日時：2024年1月22日（月）14時00分～16時00分

発表の場：国土交通省松山河川国道事務所「第24回重信川フォーラム」（IYO 夢みらい館）

発表題目：「海洋マイクロプラスチック削減への挑戦～野外調査・研究開発・傾圧活動～」

発表形態：■口頭発表 □ポスター発表 □その他（ ）

発表者名：蔵野美結（2年）、垣内庵而（1年）

備考：国土交通省松山河川国道事務所から発表の依頼

㉒日時：2024年1月26日（金）10時00分～13時00分

発表の場：愛媛県教育委員会「令和5年度えひめスーパーハイスクールコンソーシアム in 中予」（松山市総合コミュニティセンター）

発表題目：「理科部の活動を通じた先進的な研究と地域連携の取組」

発表形態：■口頭発表 □ポスター発表 □その他（ ）

発表者名：門田未来、松岡瑠奈（2年）、森川茉奈、坂田彩夏（1年）

備考：愛媛県教育委員会から発表の指名

㉓日時：2024年2月3日（土）10時00分～12時30分

発表の場：「令和5年度 課題研究I代表者発表会」（愛媛大学南加記念ホール）

発表題目：「瀬戸内海のプラスチック汚染対策～海の問題を解決するために～」

発表形態：■口頭発表 □ポスター発表 □その他（ ）

発表者名：門田未来（2年）

備考：2023年9月22・23日開催の課題研究成果発表会で代表7件に選出

㉔日時：2024年2月10日（土）14時00分～18時00分

発表の場：毎日新聞社「第13回毎日地球未来賞」（毎日新聞大阪本社オーバルホール）

発表題目：「プラガールズの研究内容と啓発活動」

発表形態：■口頭発表 □ポスター発表 □その他（ ）

発表者名：門田未来（2年）、近藤百々花（3年）

受賞等：大賞（学生の部）

備考：1月10日に入賞の新聞発表による受賞者活動報告会

㉕日時：2024年2月18日（日）10時00分～16時30分

発表の場：(株)リバネス・JASTO・日本財団「マリンチャレンジプログラム 2023 全国大会」（東京）

発表題目：「光エネルギーを利用した海洋性細菌の色素変化」

発表形態：■口頭発表（審査） ■ポスター発表（生徒交流） □その他（ ）

発表者名：門田未来（2年）

備考：8月9日開催の中国・四国地方大会を優秀賞で通過による（決勝全国15研究）

㉖日時：2024年3月9日（土）10時00分～12時00分

発表の場：日本生物教育学会四国支部大会 児童・生徒発表会（愛媛大学教育学部）

発表題目：「海洋性細菌の微生物型ロドプシン発色の研究」

発表形態：□口頭発表 ■ポスター発表（オンライン） □その他（ ）

発表者名：竹ノ内暁葉、垣内庵而（1年）



受賞等：奨励賞

備考：本プログラム研究テーマでもポスター発表

③④日時：2024年3月15日（金）14時00分<プレス発表>

発表の場：日本河川協会「第26回日本水大賞」（活動報告書提出）

発表題目：「海洋マイクロプラスチック削減に向けての調査と対策」

発表形態：■口頭発表（6月の表書式にて） □ポスター発表 □その他（ ）

発表者名：門田未来（2年）

受賞等：文部科学大臣賞

備考：6月に東京で開催される表彰式で研究発表を行う予定

#### <研究発表以外のおもな活動>

- 2023年7月1日（土）～30日（日）西条市立東予郷土館でプラガールズ研究展お開催
- 2023年7月13日（木）愛媛大学教育学部附属中学校の課題研究「海洋汚染班」に出張講義
- 2023年7月23日（日）西条市立東予郷土館で研究ポスター展示と市民向け環境講演会を開催
- 2023年7月27日（木）28日（金）本校の学校見学会で中学生と保護者・中学校教員に活動紹介
- 2023年8月6日（日）西日本放送（香川県）のSDGsラジオ番組「知ってる?!瀬戸内海のチカラ」に出演し、九州大学の清野聡子准教授と研究内容を含む対談を行った
- 2023年8月7日（月）東温市川内公民館の「愛媛県連合婦人会環境学習会」で啓発講演会を開催
- 2023年8月12日（土）松山市主催「サマー！エコキッズスクール」に出展し小学生に実験指導
- 2023年9月6日（水）NHK松山放送局ラジオ第1放送「ひめゴジ」内「アオハル通信」に出演
- 2023年9月17日（日）（社）E C オーシャンズの海岸プラごみ回収ボランティア活動に参加
- 2023年10月9日（月）テレビ東京系 SDGs 番組「海のごみぜんぶひろう大作戦・第3弾」に出演
- 2023年10月28日（土）29日（日）「青少年のための科学の祭典・松山会場」で小学生に実験指導
- 2023年11月12日（日）松山市立生石小学校「実験工作教室」（生石公民館）で小学生に実験指導
- 2023年11月22日（水）松山市環境部「エコリーダー研修会」で活動報告・質疑応答
- 2023年12月30日（土）テレビ東京系で10月9日に放送された出演 SDGs 番組が地元局で放送
- 2024年1月20日（土）21日（日）松山市「まつやま環境フェア」でブース出展、ステージ発表
- 2024年2月1日（木）環境活動家・露木志奈さんのインスタライブに出演
- 2024年2月6日（火）7日（水）11日（日）毎日新聞で活動記事掲載
- 2024年3月1日（金）（株）リバネス「教育応援」Vol.61（3月号）に研究リーダー門田の記事掲載
- 2004年3月14日（木）愛媛大学南予水産研究センターの海洋生分解性プラ研究チームと情報交換
- 2024年3月21日（木）NPO 法人「OpenPETase」と交流・情報交換
- 2024年3月（未定）毎日新聞に研究内容の特集記事掲載

#### （4）本研究以外の研究テーマについて

##### ① 海洋マイクロプラスチック汚染の定期調査と研究発表（2022年度から）

校内での課題研究テーマとして、地元の海岸での定期的な調査をもとに季節や天候によるマイクロプラスチック漂着の動態を分析している。2022年度の（株）リバネス「マリンチャレンジプログラム」採択テーマである。また、2023年度からは海面のマイクロプラスチックが劣化や付着物により海底に沈降する仕組みについても研究している。地元の発表会や学会で調査結果を発表している。

##### ② 海洋生分解性プラスチックの経済生産技術の開発と研究発表（2021年度から）

生分解性プラスチックの材料になる PHB（ポリヒドロキシ酪酸）を海洋性細菌に合成させ、その経済的な生産技術の開発に取り組んでいる。海外の天日塩からの優良菌株の単離、C/N 比改変培養などで成果をあげた。2022年度の REHSE 最終報告会や 2023年度の全国高校総合文化祭で発表。

- ③ 海洋性細菌の微生物型ロドプシン発色の研究と研究発表（2023年度からの新規研究）  
海洋性細菌のコロニーが貧栄養状態になると変色することから、微生物型ロドプシンの合成による光エネルギー利用に着目し、名古屋工大、岡山大などの研究者を訪問した。2023年度の(株)リバネス「マリンチャレンジプログラム」採択テーマである。
- ④ 中高生への指導や市民への啓発講演会の実施、マスコミを通じた情報発信など  
小中学生対象の科学イベントに出展して体験学習や実験の指導、市民対象の環境フェアへの出展や環境啓発講演会の開催、啓発冊子の発行などに取り組んでいる。研究で得た成果の波及・普及に積極的に取り組み、マスコミを利用した情報発信にも積極的に取り組んでいる。

#### （5）受賞等 <（3）の発表番号に対応>

##### <本研究テーマに関して>

- ②「プラスチックを餌に飼育したミールワームの腸内細菌を利用したプラごみ分解処理技術の開発」（愛媛県総合科学博物館「第9回中高生のための科学研究プレゼンテーション大会」ポスター部門）愛媛県知事賞（2023年8月6日）
- ⑤「プラスチックを餌に飼育したミールワームの腸内細菌を利用したプラスチック分解技術の開発」（朝日新聞社「第21回高校生・高専生科学技術チャレンジJSEC2023」）佳作（2023年11月16日）
- ⑥「プラスチックを餌に飼育したミールワームの腸内細菌によるプラスチックの分解」（校内研究発表会「第2回愛附コンテスト」）最優秀（2023年12月12日）
- ⑧「プラスチックを餌に飼育したミールワームの腸内細菌によるプラスチックの分解」（(株)リバネス・中国銀行・山陽新聞社「サイエンスキャッスル2023中四国大会」）最優秀賞（2023年12月23日）
- ⑩「プラ食ミールワームの腸内細菌によるプラごみ分解処理」（愛媛大学・愛媛県教育委員会「えひめサイエンスチャレンジ2023一般部門」）優秀賞（2024年2月4日）
- ⑫「プラスチックを餌として飼育したミールワームの腸内細菌を利用したプラごみ処理技術の開発」（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2023年度成果発表会」）最優秀賞（2024年3月10日）

##### <本研究以外の研究テーマに関して>

- ⑬「海洋性細菌産生による生分解性プラスチックの経済的生産」（「生物系三学会2023中国四国支部大会・高校生プスター発表会」）優秀賞（2023年5月13日）
- ⑭「海洋マイクロプラスチック汚染解決に向けた実態調査と海洋生分解性プラスチックの経済的生産方法の開発」（日本環境化学会「第18回高校環境化学賞」）最優秀賞・松居記念賞（2023年5月31日）
- ⑮「松山市沿岸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」（校内研究発表会「第1回愛附コンテスト」）優秀賞（2023年6月15日）
- ⑱「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」（全国高文連「全国高等学校総合文化祭自然科学部門」ポスター発表）奨励賞：4～8位（2023年7月28日）
- ⑳「松山市の海岸におけるマイクロプラスチック汚染の実態とその対策」（愛媛県総合科学博物館「第9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」ステージ部門）愛媛県教育委員会教育長賞（2023年8月6日）
- ㉑「光エネルギーを利用した海洋性細菌の色素変化」（リバネス・日本財団「マリンチャレンジプログラム2023中国・四国地方大会」）優秀賞：2月18日の全国大会出場決定（2023年8月9日）
- ㉒「愛媛大学附属高等学校 理科部プラガールズの活動に対して」（毎日新聞社「第13回毎日地球未来賞」学生部）大賞（2024年1月10日発表、表彰式・発表会2月10日）
- ㉓「海洋マイクロプラスチック削減に向けての調査と対策」（日本河川協会「第26回日本水大賞」）文部科学大臣賞（2024年3月15日発表、表彰式・発表会6月）

## (6) 他の助成

- ① 活動支援金（国際ソロプチミスト日本財団）＜2023年11月～2024年6月＞  
「愛媛大学附属高等学校 理科部プラガールズの活動に対して」 30万円  
＋平和広島支部（推薦団体）奨励金 5万円
- ② 理科教育支援プログラム（日立ハイテク）＜2023年7月～8月＞  
「卓上小型走査型電子顕微鏡 無償貸与」（無償だが有償だと60万円相当）
- ③ マリンチャレンジプログラム 2023（リバネス・日本財団）＜2023年4月～2024年2月＞  
「光エネルギーを利用した海洋性細菌の色素変化」 7万円 ＜本研究とは別テーマ＞
- ④ エバーグリーン（伊予銀行環境基金）＜2022年11月～2023年8月＞  
「愛媛大学附属高等学校 理科部プラガールズの活動に対して」 50万円
- ⑤ 課題研究校内補助＜2023年5月～7月＞  
「課題研究Ⅰ」（2年生）、「課題研究Ⅱ」（3年生）、各1万円×2研究
- ⑥ コンテスト入賞による副賞の賞金および講演会の講師料など（2023年度使用分）
  - ・イオンエコワングランプリ：内閣総理大臣賞（55万円）2022年12月3日
  - ・三浦保環境賞：奨励賞（20万円）2023年2月17日
  - ・高校環境化学賞：最優秀賞（5万円）2023年5月31日
  - ・愛媛県連合婦人会環境学習会（生徒2名による2時間の講演）講師料（3万円）2023年8月7日
  - ・青少年のための科学の祭典 出展補助（2万円）2023年28日・29日
  - ・まつやま環境フェア 出展補助（1万円）2024年1月20日・21日
  - ・毎日地球未来賞：大賞（50万円）2024年2月10日
  - ・日本水大賞：文部科学大臣賞（50万円）2024年3月15日（表彰式・発表会・副賞授与：6月）

## (7) 研究課題を選んだ理由

### 【本研究課題を選んだ理由や、その背景】

海洋プラスチック対策としては、今後の排出プラスチックへの対策と、すでに廃棄されているプラスチックへの対策の2つの取組が考えられる。本研究チームは2020年6月に発足し、昨年度まで将来の対策として海洋生分解性プラスチックの経済生産技術の開発に取り組んで来た。その成果は昨年の本事業最終報告会で発表した。一方、回収された海洋プラスチックは劣化や付着物、塩分含有によりリサイクルが困難なため、焼却や埋立による処分が多く環境負荷が大きい。そのためプラスチックの分解処理が望ましいが、2022年度に取り組んだ土壌からのプラスチック分解菌の探索は難しかった。そこで発泡スチロールを食べて生育できるミールワーム（ゴミムシダマシの幼虫）に着目し、その腸内細菌からプラスチック分解菌・資化性菌を探索することにした。最終的には、プラスチック分解菌が分泌する酵素による生化学的分解と、紫外線による物理的分解を組み合わせ、効率の良いプラスチック分解処理技術の開発を目指したい。

## (8) 成果概要

### 【本研究活動で得られた成果】

#### ① プラスチックを餌としたミールワームの飼育

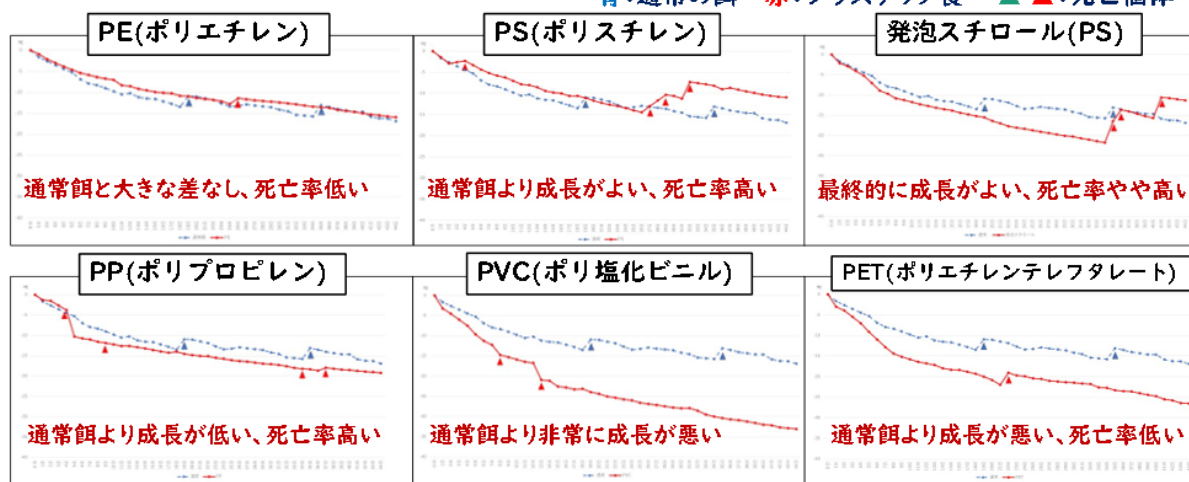
ミールワームはペットショップでハ虫類や鳥類の餌用のものを購入した。実験用プラスチック板5種類（PE・PS・PP・PET・PVC）を金ヤスリで摺り下ろし、紫外線（殺菌灯のUVC）照射で粉末化・殺菌した物を餌とした。通常の餌と各プラスチック粉末のみを餌としてミールワームを10匹ずつ飼育すると、いずれも脱皮しながら成長した。水を同時に与えると成長は早くなるが、水の摂取による体重の増加が大きく本来の成長量がわからなくなるので、水なしで飼育した。ミールワーム



ムの体重の変化を毎日測定したところ、通常の餌では体重を徐々に低下させながら脱皮・成長し、1か月の死亡率は20%であった。PE粉末を餌としたものは通常の餌と体重の変化に差がなく、死亡率は10%と低かった。PS粉末を餌としたものは通常の餌よりも体重が大きくなったが、死亡率は40%と高かった。PP粉末を餌としたものは通常の餌よりも体重がやや小さく、死亡率は40%と高かった。PVC粉末を餌としたものは通常の餌よりも体重が非常に低下したが、死亡率20%と差がなかった。PET粉末を餌としたものは通常の餌よりも体重がかなり低下したが、死亡率は10%と低かった。水も与えた通常の餌では蛹化する直前（約1か月後）に体重の大幅な増加があったが、水を与えない場合は成長が遅く、蛹化までに長期間を要する。成長のよさ・悪さと死亡率との関係は見られなかった。

## 水なしプラ食ミールワームの平均体重の変化 (mg) <約4週間>

青:通常の餌 赤:プラスチック食 ▲:死亡個体



普通プラと通常の餌	通常の餌	PE	PS	発泡スチロール	PP	PVC	PET
死亡率	20%	10%	40%	30%	40%	20%	10%

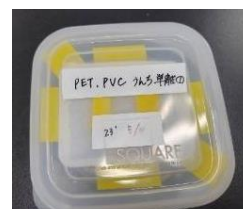
衰弱した小型の個体が死亡（排除）した直後は、平均体重が見かけ上増加したようになる

### ② ミールワームの腸内細菌の培養

ミールワームがプラスチックをどこまで消化しているのかを調べるために、愛媛大学工学部で FT-IR（フーリエ変換赤外線分光法）による糞中のプラスチック残渣の測定を行った。その結果、糞に残留しているプラスチックは見つからず、糞の主成分は雑多な有機物と尿酸であった。このことから、餌として摂取されたプラスチック粉末は消化されていることがわかった。ただし、FT-IR では最初に登録しているプラスチックしか判定できないため、本のプラスチックが完全に分解されたとは言えない。次にミールワームの糞を標準寒天培地に塗布して腸内細菌を培養した。腸内環境は嫌気状態と推定されるが嫌気培養装置がなかったため、酸素吸収剤として使い捨てカイロを用いた。タッパー内に使い捨てカイロと培地に植菌したシャーレを入れてビニールテープで蓋を密封し、100均商品だけの簡易的な嫌気培養を行った。その結果、5種類のプラスチック餌のいずれの糞からも複数の腸内細菌が培養でき、コロニーのタイプごとに単離した。



FT-IR でのプラ分析



密封タッパー内のカイロでの簡易的嫌気培養

### ③ 腸内細菌のプラスチック分解能の確認

単離できた菌株ごとにプラスチック分解能を検討した。当初はプラスチック粉末を寒天培地に懸濁したが、オートクレーブで滅菌すると融点が高いプラスチックは溶解し、冷却時に固化して塊になる



ため、その方法は断念した。そこで、寒天培地上の植菌した部分にプラスチック粉末をふりかけて培養し、形成されたコロニー周囲にプラスチックが分解されたハロー（透明帯）ができることで分解菌と判定した。培地の栄養分を含まない水寒天でも同様の培養を行い、プラスチック資化性菌（プラスチックのみを栄養分にする分解菌）の探索を行った。その結果、PE・PS・PP・PET・PVCの5種類のプラスチックそれぞれに対する分解菌を発見し、それらの分解菌は同時に資化性菌でもあった。ただし、資化性菌ではなく窒素固定細菌である可能性も否定できなかったため、脱気して窒素を除去した真空デシケーター内で培養した。その結果、寒天上にコロニーを形成しながら周囲のプラスチックを分解したので、窒素固定細菌ではないことを確認した。



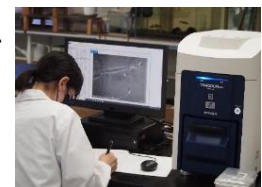
単離した菌株



プラ分解能測定

#### ④ プラスチック分解菌の電子顕微鏡観察

（株）日立ハイテクの「理科教育支援プログラム」で7月～8月に卓上小型走査型電子顕微鏡が無償貸与された際に、単離したプラスチック分解菌の菌体の形状を観察した。いずれのプラスチック分解菌も直径1 $\mu$ m程度の球菌であったが、コロニーの形状や表面の質感が異なるので別種であると思われる。無償貸与の期間後は愛媛大学教育学部を訪問し、理科研究室の走査型電子顕微鏡を使用させていただいた。また、分解菌によってプラスチック表面が分解されていく様子の観察も電子顕微鏡によって行った。実際のプラスチック分解の確認には数か月を要するため、研究期間中に目視では追跡できない分解過程の様子を確認することができた。



日立ハイテクの電子顕微鏡観察

#### ⑤ プラスチック分解酵素の抽出と分解能の測定

単離した各プラスチック分解菌を液体培養した後、遠心分離で菌体を沈め、分解酵素を含む上澄みを得る。そこに硫酸アンモニウムを過飽和（100mLあたり75g以上）になるように加え、酵素を含むタンパク質を塩析させ、遠心分離で沈める。沈殿を少量の純水に溶解させ、透析チューブに入れて流水中で脱塩し、粗酵素液を得る。加熱溶解した水寒天に各プラスチック粉末を懸濁させて固化したものを分解能測定用プレートとし、粗酵素液を含ませたペーパーディスクに乗せ、ディスク周囲のプラスチック粉末が分解されてできる透明帯の幅で分解能を測定する。2月現在、様々な条件での分解能の測定中である。日本での生分解性プラスチックの認定基準は「コンポスト中で3か月以内に60%以上の分解」であるが、通常のプラスチックの分解にはそれ以上の時間を要すると思われる。今後、分解能の高い酵素を分泌する優良菌株を選抜し（複数の分解菌の組み合わせも検討中）、酵素分泌能が高くなる培養条件を検討する予定である。最終的には粉碎したプラごみを紫外線（UVC）による物理的分解で微細化し、さらに酵素による生分解を連続させた実証実験を試みたい。



分解菌の菌体



酵素分解能測定

#### ⑥ 大阪大学の先生との共同実験（硫黄系プラスチックの利用）

2023年8月5日に大阪市内で開催された「超異分野学会 大阪フォーラム」で本研究についてポスター発表を行った。その時、大阪大学大学院理学研究科の小林裕一郎先生から共同研究の依頼があった。小林先生は硫黄廃棄物からの硫黄系ポリマー（プラスチック）の合成に成功しており、その大会での最優秀賞を受賞した。その硫黄系プラスチックの生分解性と生物有害性について調べたいとのこ

とであった。11月から提供された約10種類の硫黄系プラスチックを餌としてミールワームに与える実験を始め、1月からも再度硫黄系プラ食飼育実験を行った。その結果、硫黄系プラ餌でも通常のプラスチック餌と成長に大きな差はなかった。ただし、硫黄系プラは柔らかかったため、ミールワームが食べやすかったことも考えられる。また、硫黄臭が強かった硫黄系プラ餌では死亡率が高かったことから、分解産物として硫化水素が発生したことが考えられる。現在、得られたデータについて小林先生と検討を進めるとともに、各種試料の分析を依頼中である。



硫黄プラを食べるミールワーム

#### <参考資料>

- ・「ハニーワームとポリエチレンの分解について」高松第一高等学校（2022）
- ・「ミールワームで海洋プラスチックごみ問題を解決できるのか」大阪府立貝塚南高等学校（2022）
- ・「Fate of Hexabromocyclododecane (HBCD), A Common Flame Retardant, In Polystyrene-Degrading Mealworms: Elevated HBCD Levels in Egested Polymer but No Bioaccumulation」(2019) Anja Malawi Brandon, Sahar H. El Abbadi, Uwakmfon A. Ibekwe, Yeo-Myoung Cho, Wei-Min Wu, Craig S. Criddle
- ・「An engineered PET depolymerase to break down and recycle plastic bottles」Carlbios(nature : published by 08 April 2020)

#### 【活動状況と創意工夫した点】

1学期は3年生中心の活動を行っていたが、夏休みから3年生が受験体制に入ったため1・2年生中心の活動に移行した。研究発表も2学期からは2年生中心である。

<創意工夫した点>

##### ① プラスチック板の粉末化による餌の準備

ミールワームは発泡スチロールを嚙ることができるがプラスチック板には歯が立たない。そこで金ヤスリでプラスチック板を削り、その後、クリーンベンチ内で紫外線（UVC）照射による物理的分解で粉砕すると同時に殺菌も行い、餌とした。

##### ② 使い捨てカイロによる簡易的な嫌気培養

腸内環境は無酸素状態なので、腸内細菌は嫌気培養が必要だが嫌気培養装置がなかった。そこで使い捨てカイロを酸素吸収剤として用い、培地シャーレとともにタッパーに入れて蓋をビニールテープで密封することで微酸素状態にして培養した。100円ショップの商品50円以下で数万円かかる装置の代用ができた。

##### ③ プラスチック分解能測定プレート

プラスチック粉末を懸濁した寒天をオートクレーブ（121℃）で滅菌すると溶解するプラスチックがあったので、溶解した寒天をシャーレに分注する際に紫外線で殺菌したプラスチック粉末を懸濁させて固化した。分解を観察しやすいプラスチック粉末の懸濁密度については試行錯誤を繰り返した。

#### 【本活動を通じて活動に参加したメンバーが学んだこと、今後の展開、課題】

- ・装置がなくてできないと思ったことも、100円ショップの商品で工夫して実現できたら、大学で専門の装置を利用させていただいたりして解決できたことで、何事も諦めずに工夫することの重要性を学んだ。
- ・体重測定を毎日していた100匹以上のミールワームに愛着がわき、かわいくてたまらなくなった。友人からはキモイと言われたけど・・・。
- ・いろいろなコンテストや学会発表で研究者の方々から声をかけていただき、研究者になりたいとい

う気持ちが強くなった。

・他にも複数の研究に取り組んでいて忙しかったが、時間の上手な使い方や効率の良い実験計画などができるようになった。

・データのまとめ方や発表資料の作り方が身についた。

・成果発表会に参加して、東大の研究室を見学できたことがよかった。

・成果発表会の質疑応答で、積極的に発言する他校の生徒からいい刺激を受けた。

・成果発表会での活発な質疑応答から、高校生ならではの質問から今後の研究につながるヒントを得ることができた。