海洋マイクロプラスチック削減に向けての調査と対策

愛媛大学附属高等学校理科部プラガールズ （愛媛県）

1. はじめに

愛媛大学附属高等学校理科部には、現在27名の部員がいます。取り組みたいテーマを自分で決めることができるため、顧問の先生から「少し無謀では?」と言われながらも一人で自分がこだわったテーマに挑戦し続ける部員もいれば、骨格標本づくりに没頭する部員、絶滅危惧種保護のためのフィールドワークに頻繁に出かけている部員、大学の研究室に毎日通って実験する部員、先輩から引き継いだ研究課題に取り組む部員のチームもあるなど、多様な研究や活動を行っています。その中の一つ、海洋マイクロプラスチックごみ問題の解決に取り組む私たちは、2020年に先輩が立ち上げてから続いているチームで、今年は7名の部員（3年生1名、2年生3名、1年生3名）で構成されています。

私たちの生活を支えているプラスチックの生産量は世界的に増大し、その廃棄量も増え続けています。プラスチックは私たちの生活を豊かなものしてくれる素晴らしいものですが、海洋プラスチックごみは海洋環境、景観、漁業や観光への影響など、様々な問題の原因となっています。漁業用の網が絡まったウミガメの写真や、プラスチックを餌と間違えて食べた海洋生物の胃内容の写真は、皆さんも一度は見たことがあることと思います。北極や南極においてもマイクロプラスチックが観測されたという報告もあり、今や海洋プラスチックごみ汚染は地球規模の問題です。世界経済フォーラムは、2050年には海洋中のプラスチックごみの重量が、海にいる魚の総重量を超えるという試算を発表しました。同フォーラムは、海洋プラスチックごみの主要排出源は、東アジア地域及び東南アジア地域であるとしています。また、2017年に環境省が行った漂着ごみのモニタリング調査によれば、日本に漂着したごみは外国からのごみだけでなく、日本語表記のペットボトルも相当な割合を占めており、日本に住む私たちの問題でもあることを示しました。つまり海洋プラスチックごみは、日本を含めた世界全体が対処する必要のある問題なのです。

2. 海洋プラスチックごみ回収活動への参加

私たちは海洋プラスチックごみ汚染の実態を自分たちの目で確かめるべく、一般社団法人E.Cオーシャンズの海洋プラスチックごみ回収活動に参加しました。この時は愛媛県南西部愛南町で小型ボートでしか入ることができない島の海岸に上陸し、プラスチックごみを回収しました（写真1）。島には想像していた以上に大量のプラスチックごみが漂着していて、衝撃を受けました。ペットボトルなど私たちにとって身近なプラスチックごみもたくさんありましたが、それ以上に多かったのはブイや発泡スチロールでできた箱など、養殖漁業に関連した流出プラスチックのごみでした。私たちの食卓を支える県内水産業が、海洋プラスチックごみ問題に繋がっているという事実に対して、何とか私たちも力になれないかと考えました。

写真１　離島海岸におけるプラスチックごみ清掃活動

3. 実態調査

学校に戻った私たちは、地域の海洋プラスチックごみの現状を知り、解決への一歩を踏み出そうと考え、愛媛県松山市の梅津寺海水浴場でマイクロプラスチック量と、その材質を分析することで、元の製品を推定する調査を毎月行うことにしました（写真2）。分析には、愛媛大学工学部に協力していただきました。その結果、

写真２　マイクロプラスチックの回収、
徐放性肥料、FT-IR分析の様子

養殖業で使用される発泡スチロール（ポリスチレン）やカキ養殖用パイプ（ポリエチレン）、農業の省力化として使用されている徐放性肥料カプセル（ポリエチレン）などが多いこと、季節変化があることなどが分かりました（図1）。産業用のプラスチックより丈夫で回収システムが充実しているためか、家庭用プラスチック（ポリプロピレン）が少ないのは意外な結果でした。

海岸に漂着したマイクロプラスチック調査では、海に浮くマイクロプラスチックしか対象にできません。そこで私たちは、愛媛大学沿岸環境科学研究センター調査実習船「いさな」に乗せていただき、伊予灘と広島湾

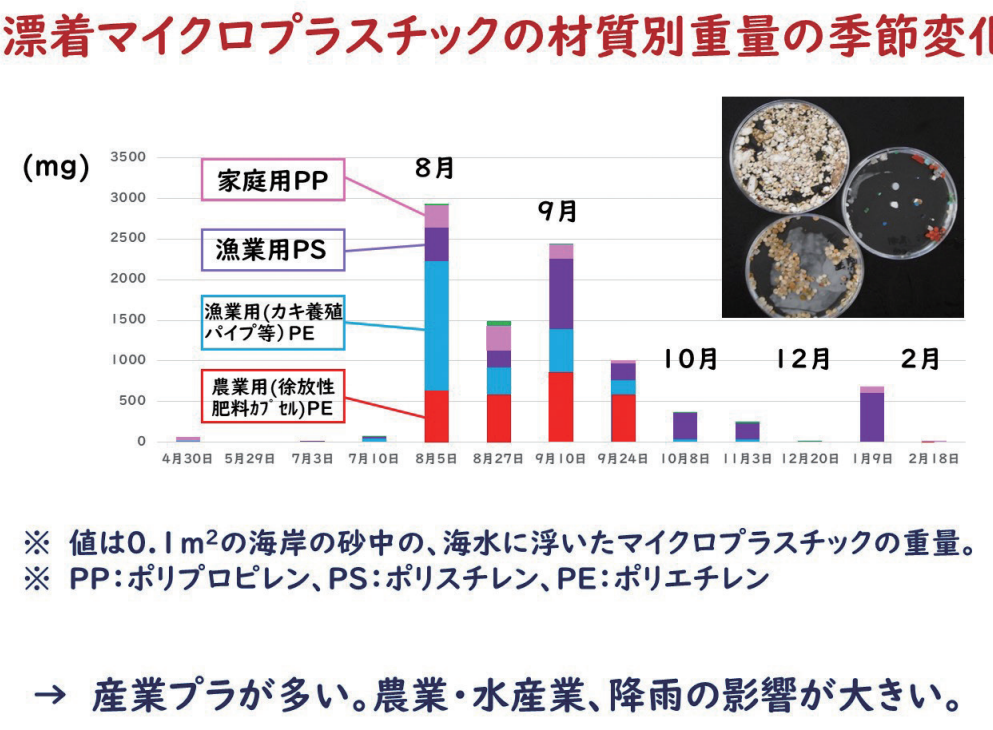

図1　フーリエ変換赤外線分光法による海岸漂着マイクロプラスチックの材質別重量の季節変化

写真3　愛媛大学調査実習船での海底泥採集

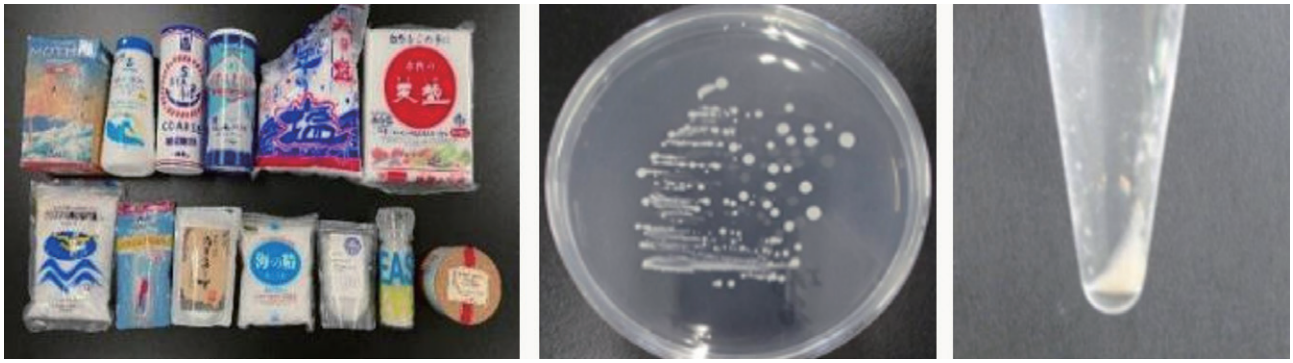

写真4　13種類の天日塩から得た優良株で生産したポリヒドロキシ酪酸と思われる物質

の2か所で海底の調査を行いました（写真3）。その結果、伊予灘ではレトルトパウチの袋とストローが見つかり、広島湾ではポリエチレンなど海水に浮くはずのマイクロプラスチックが約30個見つかりました。これらの調査を通して、私たちは清掃活動や社会的な回収システムを充実させること、生分解性プラスチックなどの環境に優しい製品を普及させること、国民一人一人が意識して解決に取り組むことが重要だと考えました。

4. 生分解性プラスチックの合成

多くの人々から環境に優しいと思われているバイオマスプラスチック配合レジ袋は、私たちの実験結果では土に埋めてもほとんど生分解されず、バイオマスプラスチックの配合率が高いほど分解されにくいこと、紫外線照射によって急激なナノプラスチック化が進み、空中飛散してしまうことが分かっています。私たちはこれらの問題の解決に貢献したいと思い、環境に優しい生分解性プラスチックの合成に挑戦しました。世界中の天日塩から海洋性細菌を単離・培養したところ、生分解性プラスチックの材料物質であるPHB（ポリヒドロキシ酪酸）の可能性があるものを抽出できる菌株を分離することができました（写真4）。しかし、高価な培地を使用した培養で生分解性プラスチックを生産できても、コストが高すぎて実用的ではありません。私たちはコストが高いという課題を解消しようと、希釈した醤油を用いた培地と培養条件の探索を行い、高価な培地よりも生産コストを300分の1にまでは低下させることができました。しかし、それでも石油由来のプラスチックと比べると高コストで、実用的な段階ではないようです。今後は、食品産業廃液を培地として用いるなど、さらなる工夫が求められると考えています。

5. ミールワーム腸内からプラスチック分解菌を探す

回収された海洋プラスチックごみは、劣化や付着物が多いこともあって、リサイクルには適しません。そのため焼却や埋め立て処理となることが多いのですが、それでは環境負荷が大きくなってしまいます。私たちは、回収してもリサイクルに不適とされているプラスチックを環境への負担がないよう分解することができる細菌や、分解酵素を得ることを最終目的として、発泡スチロールを食べることで知られるミールワームに着目して研究活動を行うことにしました。ミールワームとは、ゴミムシダマシの幼虫のことで、ハチュウ類や鳥類の餌としてペットショップなどで購入することができる上、取り扱いが簡単です。プラスチックを食べるということは、ミールワームの腸内にはプラスチック分解菌や資化性菌がいるかもしれません。この仮説を確かめるため、削った5種類のプラスチック（PE、PS、PP、PET、PVC）だけを餌として与えてミールワームを飼育し、その糞からプラスチック分解菌の探索を行いました（写真5）。腸内細菌の培養には、嫌気培養が欠かせません。学校でできる嫌気培養として、私たちは使い捨てカ

写真5　5種類のプラスチック粉末を餌として
飼育したミールワームからプラスチック分解菌を探す

イロを脱酸素材として用いることで、簡易的な嫌気培養を行いました。5種類のプラスチックを与えたミールワームから得られた糞をF-IR（フーリエ変換赤外線分光法）によって分析したところ、プラスチックの残渣は検出されませんでした。また、糞から細菌を分離・培養することができました。今、これら細菌が、それぞれのプラスチックを分解できるのかを丁寧に調べているところです。愛媛大学プロテオサイエンスセンターには、世界に先駆けて実用化に成功したコムギ無細胞タンパク合成技術があります。プラスチックごみ問題解決の実用化に耐える分解菌や分解酵素をいつか見つけ、将来的には紫外線照射と酵素による処理を組み合わせた分解処理技術へと発展させたいと考えています。

6. 啓発活動と今後

私たちは研究活動を進めていくだけでなく、当初から啓発活動にも力を入れてきました。これまで、市民対象の講座、子どもたち対象のクイズ大会、婦人会での学習会、中学校での講座、校内での研究発表、ラジオ・テレビへの出演、環境意識啓発マガジン1号・2号の発行、環境イベントへの参加、国連大学の国際シンポジウムや会議への参加、各種学会発表・レポートコンテストへの出品などを通して、多くの方々へ海洋プラスチック問題の啓発活動を行ってきました（写真6）。例えば「青少年のための科学の祭典・松山大会」では、私たちの調査を行っている海岸の砂からマイクロプラスチックを小学生に回収してもらい、参加してくださった幅広い年代の方々にこの課題を感じていただいています。私たちの学校には、スポGOMI甲子園で2021年に全国優勝、2022年も全国準優勝したチームがいたり、中古制服のリユース活動やフードドライブ活動、地域の絶滅危惧種の研究・保全活動や生息地の清掃ボランティア活動を行っている生徒がいたり、農業科では循環型農業に積極的に取り組んでいたりと、ごみ問題には関心が高い生徒が非常に多くいます。卒業後は、地元の愛媛大学を中心とした瀬戸内海沿岸の大学へ進学する生徒の比率が非常に高いこともあり、いつか私たちの世代・仲間で、地域の海洋プラスチックごみ問題を解決することができればと願っています。

海洋プラスチックごみ問題は、人間の活動が原因で起こった問題です。先人のおかげで私たちは今を生きることができていますが、一方で先人は私たちにこの問題を残していきました。私たち若い世代は、その解決に取り組まなければなりませんが、私たちの代で終わりにしたいと思います。次の世代に、この美しい海や海岸は私たちが取り戻したと、言えるよう、引き続き精一杯取り組んで行きたいと思います。

愛媛大学附属高等学校理科部プラガールズ　（愛媛県）

写真6　様々な啓発活動