

SDGs 達成に向けた マイクロプラスチックに関する研究 —高等学校の科学愛好会の指導を通じて—

宮里 匠[†]・角地 大生^{††}・西村 倫太郎^{††}・西塚 瑠依^{††}・
日山 清香^{††}・大越 睦美^{††}・大村 優摘^{††}・
田代 誠^{†††}・藤澤 諒^{†††}・鶴田 猛彦^{††††}

A study on the Microplastic for the Achievement of SDGs through the Coaching for the Science Club in the High School

Sho MIYASATO[†], Daiki KAKUCHI^{††}, Rintaro NISHIMURA^{††}, Rui NISHIDZUKA^{††},
Seika HIYAMA^{††}, Mutsumi OHGOSHI^{††}, Yutsumi OHMURA^{††},
Makoto TASHIRO^{†††}, Ryo FUJISAWA^{†††} and Takehiko TSURUTA^{††††}

ABSTRACT

Recently, the environmental pollution by the microplastic attracts attention. The request for the analysis of the plastic changed by ultraviolet (UV) irradiation was received from the science club of Hachinohe Kodai Daini High School (Niko) in 2019. They paid their attention to SDGs, and decided the theme about the microplastic. Here we show that the assay result of the substances from the plastic irradiated by UV-A lamp or UV-B lamp using a gas chromatograph mass spectrometer. It was shown that the plastic disintegrated by UV. A part of this research was reported in Research for Environment, Health and Safety Education (REHSE), Niko and 2020 Joint Meeting of the Tohoku Area Chemistry Societies (2020JMTACS), and received the poster awards in 2020JMTACS.

Key Words : *Microplastic, Instrumental analysis, SDGs, High school student, Collaboration between high schools and a university, Poster awards in 2020 Tohoku Area Chemistry Society*

キーワード : マイクロプラスチック, 機器分析, SDGs「持続可能な開発目標」, 高校生, 高大連携, 令和2年度化学系学協会東北大会ポスター賞

1. はじめに

近年, マイクロプラスチックによる環境汚染が注目されている¹⁻⁴⁾。マイクロプラスチックとは, 環境中に投棄されたプラスチックごみが粒径 5mm 以下に細分化されたプラスチック片のことである。また, 残留性有機汚染物質(Persistent

令和2年12月4日受付

[†] 工学研究科機械生物化学工学専攻博士前期課程・1年

^{††} 八戸工業大学第二高等学校普通科・3年

^{†††} 八戸工業大学第二高等学校・教諭

^{††††} 工学部生命環境科学科・教授

Organic Pollutants ; POPs)を吸着することも懸念されており^{1,4)}, 海に隣接し水産業および観光業が特徴である八戸市もこの問題に対して無視はできないと考えられる。

大学における地域貢献が強く求められており, 今年度から八戸工業大学(本学)では八戸市南郷島守地区を対象に SDGs (Sustainable Development Goals)「持続可能な開発目標」推進のためのプロジェクトを実施した。さらに, 地域産業への貢献とともに地域の高等学校への貢献も求められている⁵⁾。高等学校と大学との接続である高大連携をより促進させ, 様々な人々と協働して学ぶ態度を育成することが重要である。

宮里と鶴田は, 八戸工業大学第二高等学校(工大二高)の科学愛好会で取り組んでいる環境中のマイクロプラスチック除去に向けた活動に協力してきた。

宮里は, 工大二高の卒業生であり, 学部4年時の教育実習で共著となっている高校生のクラスで, 田代教諭と藤澤教諭の指導のもと化学の授業をさせていただいた。これによって, 在学中の生徒とのつながりができ, 本学生命環境科学科の専門の一部である環境科学と応用微生物学について伝えることができた。続いて, 本学で毎年開催している工大二高生向けのサマーサイエンスプログラム(HIT-SSP)において, 2019年と2020年に微生物工学研究室のテーマである微生物やバイオマス金属吸着剤を用いた水系からの金属の除去(講座名; 微生物や柿渋ゲルを用いた水溶液からのクロムの除去)について, 鶴田が監



図1 2020年 HIT-SSPにおける微生物や柿渋ゲルを用いた水溶液からのクロムの除去の実験の様子

督のもと講義と実験を行った(図1)。

これらを通じて, プラスチックを水溶液に入れ, 紫外線を照射させるとどのように変化しているか, もしくは水溶液中に物質が溶出しているかを分析する方法について, 科学愛好会顧問の田代教諭から相談を受けた。工大二高の科学愛好会は SDGs に着目し, 現在問題となっているマイクロプラスチックをテーマに活動している。そして, REHSE (Research for Environment, Health and Safety Education)「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」へ応募し, これまでに様々な活動について報告してきた。平成25年度には, 東日本大震災の福島原発事故から「放射線で発電は可能か」という研究テーマで最優秀賞を受賞した⁶⁾。また, 2020年に工大二高は地域 ESD (Education for Sustainable Development = 持続可能な開発のための教育)活動推進拠点に登録された。

鶴田は, 青森県立八戸北高等学校のSSH事業⁷⁾⁸⁾と香川県高松市立一宮中学校の科学部の指導^{9,10)}にも協力した。中学校では, 2016年の香川県科学研究発表会で優秀と認められ, さらに日本学生科学賞入選3等を受賞した。2017年も継続され, 香川県科学研究発表会で最優秀と認められ四国大会にも参加した。

科学愛好会の顧問である理科教員の指導のもとで行われていることはもちろんであるが, 生徒の継続的な研究が基本にあり, そのような前提で高校の理科教員免許を持つ大学院生とその大学院生の指導教員である大学教員が協力するというのは有益と考えられたため, 協力へと至った。方法として様々な考えられた中から, ガスクロマトグラフ質量分析計を用いたプラスチックからの溶出物の定性分析を行ったので報告をする。実験データについては, 本学で得られたデータおよび高校生が校外または校内で発表したものを使用した¹¹⁾。また, 本研究の内容の一部について令和2年度化学系学協会東北大会で発表を行い, ポスター賞を受賞した¹²⁾。

表1 UV-Bで照射されたプラスチックの各照射時間における様子

照射時間 [hour]	EPS	PE	PET	シリコンゴム
340	褐色になり始めた	変化なし	変化なし	変化なし
600	褐色が濃くなり 体積が減少した	変化なし	変化なし	変化なし
900	更に体積が 減少した	変化なし	褐色になり始める	着色された赤色が 薄くなった
1900	体積が元の 1/4 程度まで 減少した	多くの亀裂が 見られた	900h以降は特に変化が 見られなかった	色がほぼ透明と なった

2. UV-AまたはUV-B照射によるプラスチック製品の観察

次の2つの条件で実験を行った。

第1は、海水を想定したプラスチックに紫外線(UV)を照射させた実験である。試料は、発泡スチロール片(EPS)、ポリエチレン容器片(PE)、ペットボトル容器片(PET)、シリコンゴム片を用意した。いずれも市販のプラスチック製品である。EPSは、容器梱包等に用いられ使い捨てされる。PEは、食品の包装などによく用いられており、使い捨てされる。PETは、飲料の容器に用いられており、使い捨てされる。シリコンゴム片は、指サックの素材や医療関係など体に触れる機会が多く、使い捨てされる。いずれも使い捨てされる製品ばかりである。

純水に塩化ナトリウムを溶かして作成した3.5%食塩水に試料を浸して、UV-AとUV-Bを照射させた。プラスチックの劣化要素のうち、UVであれば比較的安価にプラスチックの劣化実験が可能だと判断し、地球上に到達するUV-AとUV-BのUVランプを用いて試料に照射した。振とう機は使用せず、静置させて照射した。

照射後のそれぞれの様子を表1と図2～図8に示した。UV-Aでは特に変化は見られなかったため、表としてまとめなかった。UV-Bについて表



図2 UV照射後のEPSの様子(左;UV-A,右;UV-B)



図3 UV照射後のPEの様子(左;UV-A,右;UV-B)



図4 顕微鏡で観察されたUV-B照射後のPE表面の様子



図5 UV照射後のPETの様子(左;UV-A,右;UV-B)



図7 UV-B照射後のPP(ポケットティッシュの袋)の様子
(150時間照射)



図6 UV照射後のシリコンゴムの様子(左;UV-A,右;UV-B)



図8 UV-B照射後のPP(ストロー)の様子(300時間照射)

1の通りに観察された。観察結果は、高校生の判断に基づいたものである。

約700～900時間でPETが薄褐色に変化し、表面に細かいキズが確認された(図4)。海岸に漂着したプラスチックを高校生がサンプリングし観察したところ、表面にはいずれも細かいキズが無数にあったと報告があった。流れ着くまでの過程で漂流物や岸壁などと衝突を繰り返してきたと考えられ、UV照射中に振とうを行うとさらに傷が多くなると考えられる。

第2は、試料の厚さが劣化時間に影響するかを試すため、同じ材質で厚さの異なるプラスチックを用意してUV-Bを照射させた実験である。ポケットティッシュの袋(ポリプロピレン製;PP)とストロー(PP)にUV-Bを照射した。詳しい厚さを測定したわけではないが、ストローはポケットティッシュの袋より厚みがあった。照射した結果、ポケットティッシュの袋は約150時間の照射により手で持てないほど脆くなった(図7)。ストローは約300時間の照射により弾力性が失われ、簡単に割れることを確認した(図8)。

UV-Bに照射されたどの試料においても、塩化ナトリウムの結晶があまり目立たないことが分かった。特に、シリコンゴムの場合はその差が顕著に見えた。顕微鏡を用いて観察を行ったところ、塩化ナトリウムの結晶とは異なる物質と考えられるものが溶出していた。そこで、UV照射により劣化したプラスチックから溶出している物質の定性分析をできるか、以降3章のガスクロマトグラフ質量分析計による分析を検討することとした。

3. ガスクロマトグラフ質量分析計を用いたプラスチックからの溶出物の定性分析

有機化合物の定性または定量分析で用いられる本学の分析機器として、ガスクロマトグラフ質量分析計(Gas Chromatograph Mass Spectrometer; GC-MS)と高速液体クロマトグラフ(High Performance Liquid Chromatograph; HPLC)がある。



図9 ガスクロマトグラフ質量分析計
(GCMS-QP2010, 島津製作所)

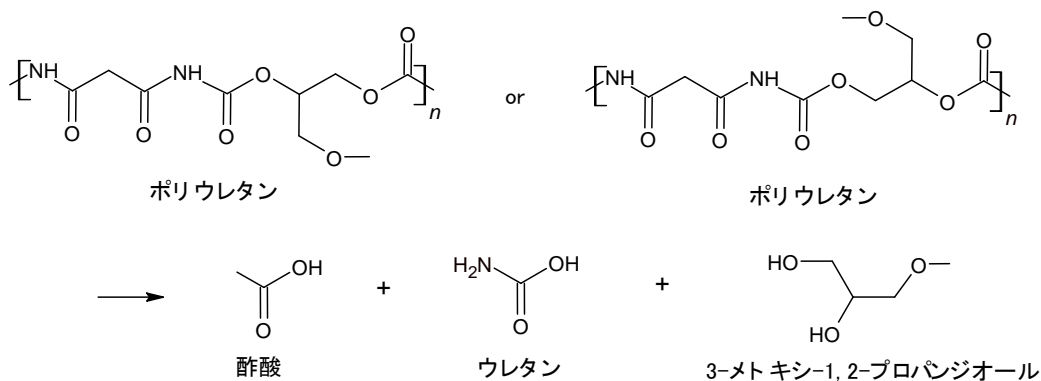
GC-MS は、電子イオン化法(Electron Ionization ; EI)により分析で得られたマススペクトルとシミュラリティ検索で約 40 万件のマススペクトル情報が入っているデータベースから化合物を推定することができる。ただし、分析する化合物は気化することを前提としている。不揮発性の物質で水溶液に溶解している場合は HPLC で分析できるが、本学の HPLC の検出器が質量分析計でないため保持時間のみの情報で化合物の推定をすぐに行うことができない。今回は、GC-MS のみで分析を行い、UV 照射により劣化したプラスチックから溶出していると考えられる物質について検討した。

サンプルは、2 章の実験のシリコンゴムを分析対象とした。UV-A に照射された塩と UV-B に照射された塩、さらに UV に照射される前のシリコンゴム片を対象とし、UV-A または UV-B、もし

表2 GC-MS の分析条件

GC-2010	
オープン温度	40°C(3min) - 240°C(5°C/min, 10min)
注入条件	200°C, スプリットレス, 1.5µL
サンプリング時間	1min
カラム圧力	15.6kPa
使用カラム	TC-WAX (GL Science, 内径: 0.25mm, 長さ: 15m)
GCMS-QP2010	
イオン源温度	200°C
インターフェース温度	200°C
測定開始時間	3min
測定終了時間	53min
開始 m/z	35
終了 m/z	1000

くは照射前後で違いが出るか比較した。UV-A に照射された塩と UV-B に照射された塩を別のシャーレにとり、30°Cのドライオープン(ADVANTEC)で一晩乾燥させた。GC-MS 分析を行う際、水分を含んでいると分析に支障があるからである。UV-A に照射された塩と UV-B に照射された塩をそれぞれ 15mg, 新品のシリコンゴム片 12mg をそれぞれ 30mL 容ビーカーに量り取った。UV-A と UV-B で違いを比較するため重量を揃えた。新品のシリコンゴム片は定性分析ができればよいと判断したため、特に重量は揃えなかった。サンプルを 5mL のジエチルエーテル(特級; 関東化学)に加えて、全て蓋付き試験管に移した。この蓋付き試験管を振とう機(ダブルシェーカーNR-30 ;



スキーム1 結果から推定されるポリウレタンの構造と分解

表3 GC-MS分析の結果(強度;面積)

推定される物質	強度(面積)[$\times 10^5$]		
	UV-A	UV-B	照射前
ウレタン	23.99	26.46	25.67
酢酸	3.31	3.38	2.98
3-メトキシ-1,2-プロパンジオール	2.29	7.21	7.83

表4 GC-MS分析の結果(強度;高さ)

推定される物質	強度(高さ)[$\times 10^5$]		
	UV-A	UV-B	照射前
ウレタン	5.12	5.56	5.35
酢酸	0.96	0.96	0.88
3-メトキシ-1,2-プロパンジオール	1.30	3.81	4.25

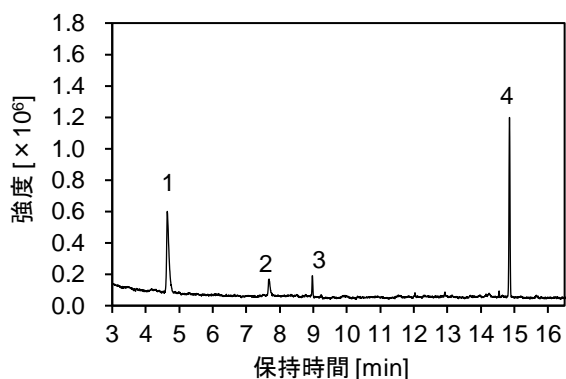


図10 UV-Aに照射された塩のTIC

ピーク 1;ウレタン,ピーク 2;酢酸,ピーク 3;3-メトキシ-1,2-プロパンジオール,ピーク 4;BHT

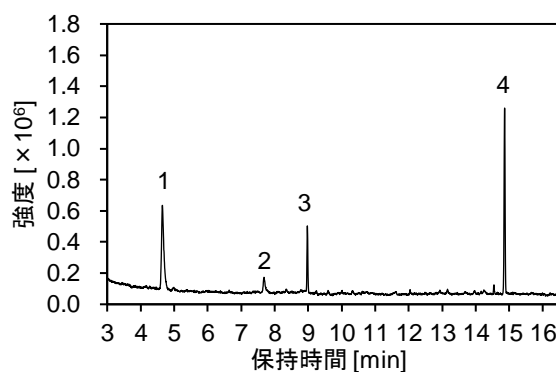


図12 UVに照射される前のシリコンゴムのTIC

ピーク 1;ウレタン,ピーク 2;酢酸,ピーク 3;3-メトキシ-1,2-プロパンジオール,ピーク 4;BHT

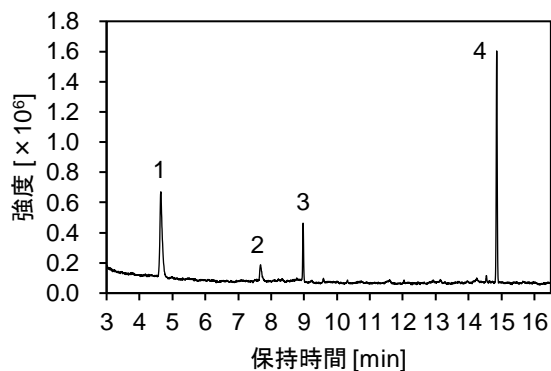


図11 UV-Bに照射された塩のTIC

ピーク 1;ウレタン,ピーク 2;酢酸,ピーク 3;3-メトキシ-1,2-プロパンジオール,ピーク 4;BHT

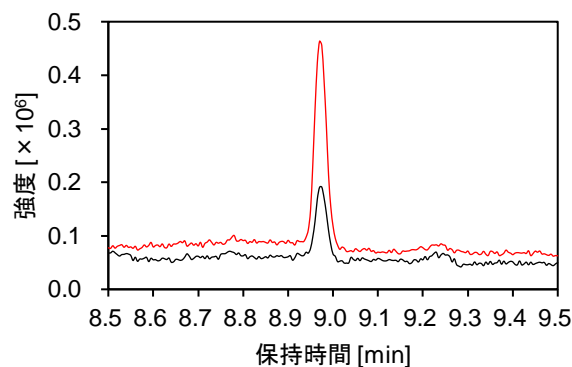


図13 図9と図10から3-メトキシ-1,2-プロパンジオール(ピーク3)のTICを重ね合わせた結果(黒;UV-A,赤;UV-B)

TITEC)にセットし, 120rpm, 24 時間溶液を攪拌させた。振とう後, そのエーテルを 5mL に定容後 GC-MSにて定性分析を行った。

使用した分析機器および分析条件は, 図9と表2に示した。分析で得られたマススペクトルをシミュラリティ検索でサンプル中に含まれる化合物を推定した。各サンプルの結果を表3と4, トー

タルイオンクロマトグラム (Total Ion Chromatogram ; TIC)を図10~12に示した。

各クロマトグラムのピークは, 1がウレタン, 2が酢酸, 3が3-メトキシ-1,2-プロパンジオール, 4が2,6-ジ-tert-ブチル-4-ヒドロキシルエン(BHT)である。BHTは, ジエチルエーテル中の酸化防止剤である。

酢酸、ウレタンと 3-メトキシ-1,2-プロパンジオールが検出されたことから、UV を照射したことでスキーム 1 のように水溶液中で分解したと考えられる。また、表 3,4 と図 13 の結果から UV-B のサンプルが UV-A のサンプルより 3-メトキシ-1,2-プロパンジオールの強度が高いことが分かった。UV-A と UV-B でエネルギー量が異なることが要因と考えられる。本実験で使用した UV ランプの詳しい波長については測定していないが、プランクの式 $E = hc / \lambda$ (E ; エネルギー[J], h ; プランク定数 6.6×10^{-34} [J · s], c ; 光の速さ 3.0×10^8 [m/s], λ ; 波長[m]) から、波長が短いほどエネルギー量が多いことになる。つまり、UV-B は UV-A よりも波長が短いため、エネルギー量が多いことになる。エネルギー量の多い UV-B が UV-A よりも分解を促進させやすい要因になり、プラスチックの分解に影響するものと考えられる。



図 14 GC-MS 説明の様子



図 15 工大二高での総合的な探求の時間における報告の様子

4. 活動の報告について

GC-MS の分析結果について、本学生命環境科学専門棟で解説を行った(図 14)。実際のサンプルの注入は難しいため宮里が行ったが、実験結果を GC-MS 解析ソフトを用いて生徒が実際にシミュラリティ検索を体験した。

1 章で述べたように、工大二高の科学愛好会は REHSE へ応募し活動内容について報告している。今回の報告に関しては、新型コロナウイルスにより口頭発表会が中止となった。その代わりに、全国から募集した各高等学校の発表データを見て、高校生、各クラブの顧問および専門家など様々な方々から評価してもらった。上位入賞とはならなかったが、環境問題への意識や他校の活動に対する興味と感心を高めることができたのではないかと考えられる。

工大二高の校内では、スキルアップ発表会と総合的な探求の時間内での発表を実施している(図 15)。学校外での様々な学習活動・ボランティアに参加した生徒がその活動内容をまとめ伝え

ることで、自己の表現力のスキルアップを図っている。他の生徒への啓発、学外学習・ボランティアへの参加を促すねらいもある¹³⁾。宮里も在学中には、学外学習に参加した内容について発表している。他にも、ボランティアをはじめ自ら課題を見つけて主体的に判断・行動し、問題解決できる力を身に着けるように生徒を主体とする教育活動を推進している。最終的には、これらの活動 1 つずつをレポートにまとめ、高校生スキルアッププログラムへ認定証の交付を申請する¹⁴⁾。

今年度は、化学系学協会東北大会で発表を行うことができた¹²⁾。本来ならば、会場が本学であったため、学会でのポスター発表を経験する良い機会となる予定であったが、新型コロナウイルスにより、オンライン上でのポスター公開と PowerPoint を使用した音声付きのフラッシュ発表という形となった。多数の質問が寄せられ、生徒は実験内容や今後検討していることについて分かりやすく回答することができた。そして、化学教育セッションにおいて、ポスター賞を受

賞することができた。高校生が努力してきた成果が認められ、後輩への良い励みとなるのではないかと考えられる。

5. おわりに

以上の実験から次の3点を確認することができた。第1は、プラスチックの劣化にはUV-Bが大きな要因となっていることが分かった。第2は、材料の厚さによって劣化速度が異なることが分かった。第3は、UVの照射によりプラスチックが分解した物質が溶出することが分かった。

今回のGC-MS分析では、1種類のプラスチックのみで検討したため、他のプラスチックで検討してみる価値は高いと考えられる。そして、マイクロプラスチックが生物体内に取り込まれた際、どのようになるか、高校生でも確認できる実験を考えていきたい。さらに、海岸でマイクロプラスチックを回収してGC-MS分析を行い、八戸市に漂着するマイクロプラスチックにはどのような物質が吸着しているのか否かについても検討してみたい。

これらの研究および発表準備の過程で、微力ではありながら4章の分析結果の解説および電子メールやビデオ会議による相談を行ってサポートしてきた。研究を行ってきた高校生は、今年度3年生のため卒業する。後輩へ引き継ぎを行い、継続的に研究を行う予定であるため、できる限りのサポートを行いたい。高校生はもちろんではあるが、我々もSDGsへの意識がより高まった。高校生が研究施設や分析機器に触れる機会を増やし、化学への興味関心を高めて欲しい。

教育実習を通じて、このような研究ができることは高校と大学にとって有意義なことであり、高校生の問題解決力が高校生活や大学における卒業研究または大学院の研究、さらに社会へ進出した際にも生かされると考えられる。大学生および大学院生が大学から1歩出て、高校生と目標に向かって活動することの喜びを分かち合うこ

とで、大学の講義だけでは経験できないことが味わえる。教職課程を履修している学生および教職教室の講義と実習には「実践」が重要であると考えられ、大学生および大学院生がより実践的な立場に立つことこそが「現場」で臨機応変に対応する力をつけることを可能にするであろう。

謝 辞

八戸工業大学第二高等学校の教職員の皆様のご理解とご協力を得て報告させていただきましたことに深く感謝申し上げます。

教育実習、サマーサイエンスプログラムをはじめ、授業および講義にご参加下さった高校生の皆様に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Anthony L. Andrady, Microplastics in the marine environment, *Marine Pollution Bulletin*, 62 1596-1605, (2011)
- 2) Lisbeth Van Cauwenberghe, Colin R. Janssen, Microplastics in bivalves cultured for human consumption, *Environmental Pollution*, 193, 65-70, (2014)
- 3) 牛島大志, 田中周平, 鈴木裕識, 雪岡聖, 王夢澤, 鍋谷佳希, 藤井滋穂, 高田秀重, 日本内湾および琵琶湖における摂食方法別にみた魚類消化管中のマイクロプラスチックの存在実態, *Journal of Japan Society on Water Environment*, 41, 4, 107-113, (2018)
- 4) Xuan Guo, Jianlong Wang, The chemical behaviors of microplastics in marine environment, *Marine Pollution Bulletin*, 142, 1-14, (2019)
- 5) 佐々木謙, 堀浩, 2018 サイエンスサマーキャンプ実施報告, 玉川大学農学部研究教育紀要, 3, 43-45, (2018)
- 6) 上野智宥, 久保玲, 種下祐樹, 北谷航介, 渡邊拓人, 田代誠, 放射線で発電は可能か, 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」平成25年度研究活動報告書, (2014)
- 7) 青森県立八戸北高等学校, 平成22年度指定スーパーサ

- イエンスハイスクール研究開発実施報告書 第 4 年次,
平成 26 年 3 月, 30, 38, 74 頁,(2014)
- 8) 青森県立八戸北高等学校, 平成 22 年度指定スーパーサイエンスハイスクール研究開発実施報告書 第 5 年次,
平成 27 年 3 月, 50, 63, 65, 111 頁,(2015)
- 9) 鶴田猛彦, 松村健司, 下川恭徳, 微生物を用いた水溶液からの銅の除去—中学校の科学クラブの指導を通して—, 八戸工業大学地域産業総合研究所紀要, 16, 13-20, (2018)
- 10) 鶴田猛彦, 石村朋広, 下川恭徳, 微生物を用いた水溶液からの銅の除去—中学校の科学クラブの指導を通して(第二報)—, 八戸工業大学紀要, 38, 107-116, (2019)
- 11) 角地大生, 西村倫太郎, 西塚瑠依, 日山清香, 大越睦美, 大村優摘, 田代誠, 藤澤諒, マイクロプラスチックについて, 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」2019 年度 研究活動報告書, (2020)
- 12) 西塚瑠依, 角地大生, 大村優摘, 田代誠, 宮里匠, 鶴田猛彦, マイクロプラスチックについて, 令和 2 年度(2020 年)化学系学協会東北大会(PH214, 八戸工業大学オンライン開催, 2020.9.26-27)
- 13) 八戸工業大学第二高等学校, 二高日誌 学外学習, <https://www.kodai2-h.ed.jp/nikoinfo/diary/off-campus-activity> (参照 2020 年 12 月 3 日)
- 14) 青森県総合社会教育センター, 高校生スキルアッププログラム, https://www.alis.pref.aomori.lg.jp/kouza_hssp.html (参照 2020 年 12 月 3 日)

要 旨

近年, マイクロプラスチックによる環境汚染が注目されている。2019 年に八戸工業大学第二高等学校(工大二高)の科学愛好会から環境中からマイクロプラスチック除去に向けた取り組みの 1 つとして, 紫外線によってプラスチックが海水中でどのように変化するかを検討しており, これを分析する方法に関して相談を受けた。科学愛好会は SDGs に着目し, マイクロプラスチックをテーマに活動している。UV-A と UV-B の波長が違うランプによって照射されたプラスチックから溶出した物質を GC-MS 分析によって検出することができたので報告をする。本研究の一部について, REHSE, 工大二高の学内と化学系学協会東北大会で報告し, 学会ではポスター賞を受賞した。

キーワード: マイクロプラスチック, 機器分析, SDGs「持続可能な開発目標」, 高校生, 高大連携, 令和2年度化学系学協会東北大会ポスター賞