

数十マイクロメートルまで微細化した海洋マイクロプラスチックを定量

西部裕一郎, 山下麗, 津田敦
東京大学大気海洋研究所

プラスチックごみによる海洋汚染は世界の様々な海域で大きな環境問題になっています。環境中へ流出したプラスチックごみは、海岸などでの紫外線や波の影響によって劣化と破碎を繰り返し、やがてマイクロプラスチックと呼ばれる5 mm以下の微細片になります。海面に浮遊しているマイクロプラスチックの分布は、網目のサイズが300 μm 程度のニューストンネットと呼ばれるネットを曳いて調査するのが一般的です。そのため、ネットの網目よりも細くなったマイクロプラスチック（以下、微細マイクロプラスチック）を採取することができません。微細マイクロプラスチックは植物プランクトンとサイズが重複するため、動物プランクトンなどの海洋生物に誤って取り込まれ、その生理状態に影響を及ぼす可能性が指摘されています。しかし、微細マイクロプラスチックの分析には高度な技術が必要なため、例えば海水1L中にどのくらいの数が存在するのか、といった基礎的なデータも十分ではないのが現状です。私たちの研究グループは、微細マイクロプラスチックの分析手法を確立し、これを用いて日本の沿岸域（東京湾、日本海沿岸、三陸沿岸）における微細マイクロプラスチックの分布について調査してきました。海面から海水を採取し、微細マイクロプラスチックを含む粒子をろ過によってフィルター上に濃縮した後、化学的な処理を行い、機器分析によってプラスチックを判別・計数しました。また、比較のために、従来と同じくネットを使ったプラスチックの採取も行いました。その結果、調査した沿岸域の海水中には300 μm よりも小さな微細マイクロプラスチック（図1）が数多く含まれており、検出されたプラスチックの90%以上が100 μm よりも小さいことが明らかになりました。また、海水中には1Lあたり1個から10個程度の微細マイクロプラスチックが検出され、特に大都市圏に隣接する東京湾で個数密度（個/L）が高いことが分かりました（図2）。この結果を、世界の他の海域から報告されたデータと比較すると、中国や韓国など東アジアの沿岸域とは同程度であるものの、ヨーロッパの沿岸域よりは高いことが明らかになりました。また、同時にネットで採取した300 μm ~5 mmのマイクロプラスチックと比較すると、微細マイクロプラスチック（<300 μm ）の方が個数密度では千倍から一万倍（図2）、重量密度（mg/L）においても同程度か数倍高いことが分かりました。これらの結果から、従来のネットを用いた調査は簡便ではあるものの、マイクロプラスチックの個数・重量密度を過小評価しており、沿岸域のプラスチック汚染を正確に評価するためには、微細マイクロプラスチックを含めた調査が不可欠であると考えられました。また、本研究で得られた実海域の微細マイクロプラスチックの個数・重量密度は、海洋生物への影響を評価する実験をデザインする際の基礎データとして活用されることが期待されます。

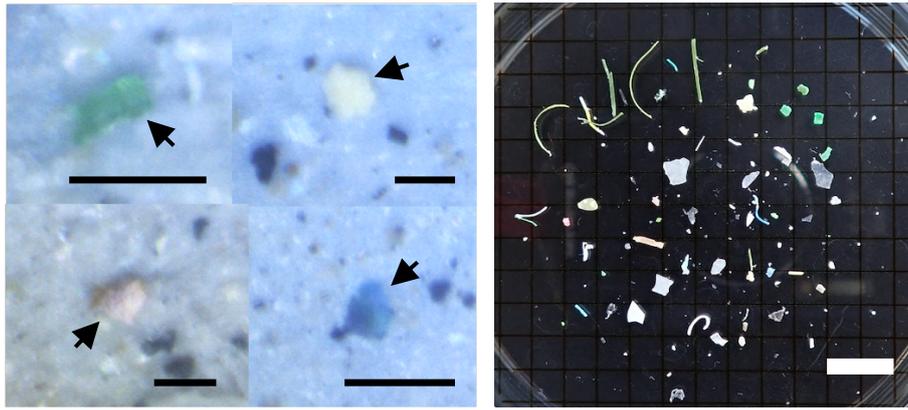


図 1: 東京湾で採取されたプラスチック

左) 表面海水から検出された微細マイクロプラスチック. スケールバーは 50 μm

右) ニューストーンネットで採取されたプラスチック. スケールバーは 10 m

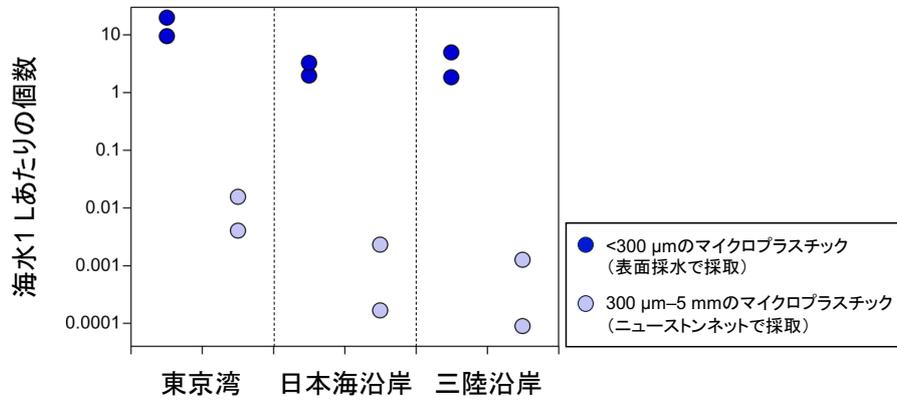


図 2: 調査海域の海面におけるマイクロプラスチックの個数密度

海洋表面からマイクロプラスチックが取り除かれるしくみ

～植物プランクトンの死骸などからなる粒子と共に

海底に沈んでいく過程に着目～

小川浩史

東京大学大気海洋研究所

人間活動によって生じたプラスチックごみが海洋に排出されると、その多くは、小さい破片（一般にマイクロプラスチックと呼びます）となって海洋の表面を漂います。ところが、海洋に排出されるプラスチックごみの量に比べて、海洋表面に漂っているマイクロプラスチックの量は圧倒的に少ないことが知られています。プラスチックはバクテリアなどの生物によって分解されないため、本来なら海にどんどん蓄積されていく筈ですから、何らかのしくみによって取り除かれなければなりません。そして、最も可能性の高いしくみとして考えられているのが、表面から海底に向かって沈む過程です。ただし、プラスチックの中には海水より比重が軽いものが多く含まれており、それ自身で沈むことはできないので何らかの助けが必要となります。そこで重要な役割を担うのが、海洋表層で成長する植物プランクトンの死骸などからなる生物由来の粒子です。これらは、互いにくっつき合いながら次第に大きくなり（凝集と呼びます）、やがて海底に向かって沈んでいきます（沈降粒子あるいはマリンスノーなどと呼ばれています）。表面に漂うマイクロプラスチックが、この沈降粒子にくっつくことによって、比重の軽いものでも、海底に向かって沈むことができます。私たちは、主に実験室のボトルの中でこの過程を再現することで、マイクロプラスチックが沈む過程を詳しく調べることに取り組んできました。

実験にあたりまず、沿岸からガラスボトルに採取してきた海水の中に、植物プランクトンの成長に必要な栄養素を加え、照明のつく培養装置の中に置きます。3-4日もすると植物プランクトンが成長を始め、やがて死んでいくと凝集が起これ、沈降粒子ができてきます。そこに、マイクロプラスチックを見立てたプラスチックビーズを入れ、ボトルごと暫く回転することで沈降粒子と接触させます。その後静置し、ボトルの底に沈降粒子と一緒に沈んだビーズの数を数え、加えたビーズに対する割合を計算することにより、ビーズの沈み易さがわかります。これまで、サイズが異なるビーズを用いた比較実験を行ったところ、よりサイズの小さなビーズの方が沈み易いことがわかりました。小さいビーズの方が沈降粒子とくっつき易かったり、中に取り込まれ易いことが理由だと考えられます。

次に私たちは、ビーズをボトルに添加する前に、ビーズの表面にある前処理を加える実験を行いました。これは、海洋に排出されたプラスチックは、工場で作られた時の状態とは異なり、様々な環境要因に曝されるため、特にその表面が変化し、それによって沈降粒子とのくっつき方が変わり、沈み易さに影響すると考えたからです。一つ目の実験では、紫外線（UV）を当てることによりビーズ表面を劣化させる処理を行いました。その結果、紫外線を当てなかった時に比べ、6時間紫外線に当てたビーズの方が明らかに沈み易くなり、さらに30時間当てるともっと沈み

易くなることがわかりました (図 1)。紫外線があたると表面が劣化し (顕微鏡観察で凸凹が増えることがわかりました), これが沈降粒子とのくっつき易さを高める効果をもつと考えられます。次に行ったのは, ビーズをあらかじめ植物プランクトンの培養液の中に暫くの間浸した後に取り出し, 沈降粒子に加える実験です (この前処理を Aging と呼びます)。4 種類のサイズのビーズを使って実験行ったところ, どのサイズについても, Aging を行わなかったビーズに比べて, Aging 処理 (4 日間培養液に浸す) を行ったビーズの方が沈み易くなることがわかりました (図 2)。ビーズを培養液中に浸すと, 液に含まれるプランクトンから排泄された様々な物質がビーズ表面に付着し (顕微鏡観察でも確認できました), それによって, 沈降粒子とのくっつき易さが高められた結果だと考えられます。

実際の海洋でも, マイクロプラスチックは太陽の紫外線に晒されたり, 海水中に含まれる物質が付着する間に表面が変化し, これらの実験結果と同様な効果が生じていることが推察されます。

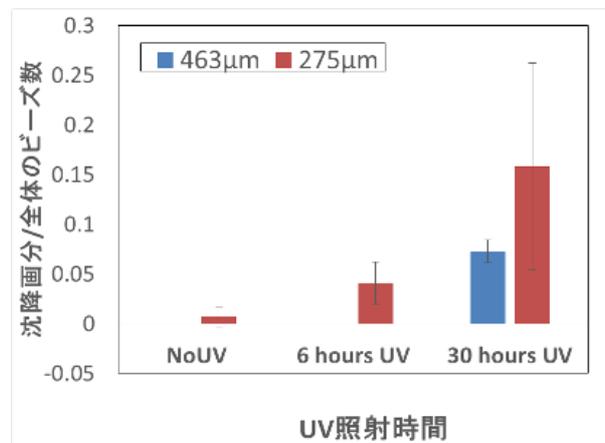


図 1. 紫外線 (UV) 処理の時間 (横軸) と, 沈降粒子と共に沈んだビーズの割合 (縦軸) の関係。赤棒はサイズが 275µm, 青棒は 463µm のビーズを用いた結果。

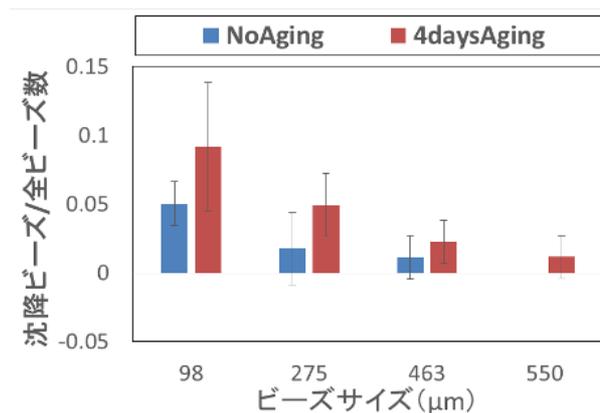


図 2. 培養液中に 4 日間浸す前処理 (Aging) を行ったビーズ (赤棒) と行わなかったビーズ (青棒) に対する, 沈んだビーズの割合 (縦軸) の比較。横軸は, 実験に用いたビーズのサイズ。

重い材質のマイクロプラスチックの行方

——過去 65 年間の北太平洋の海底蓄積を推定——

伊藤進一

東京大学大気海洋研究所

これまで、海洋マイクロプラスチック観測は、海水よりも軽い浮遊性マイクロプラスチックが表層に浮いているという特性を用いて、表層ネット曳網などが行われてきました。しかし、海洋に放出されているプラスチックの約 4 割は海水よりも重い沈降性であることが指摘されており、沈降性プラスチックの海洋における挙動は不明なままでした。

そこで、プラスチックの利用が盛んになった 1951 年からの 65 年間に、数値モデルの中で合計 577,143,840 個の粒子を北太平洋に放出し、各河川からの沈降性マイクロプラスチック放出量をそれぞれの粒子に重み付けすることで、海底への堆積状況をシミュレーションしました (図 1)。

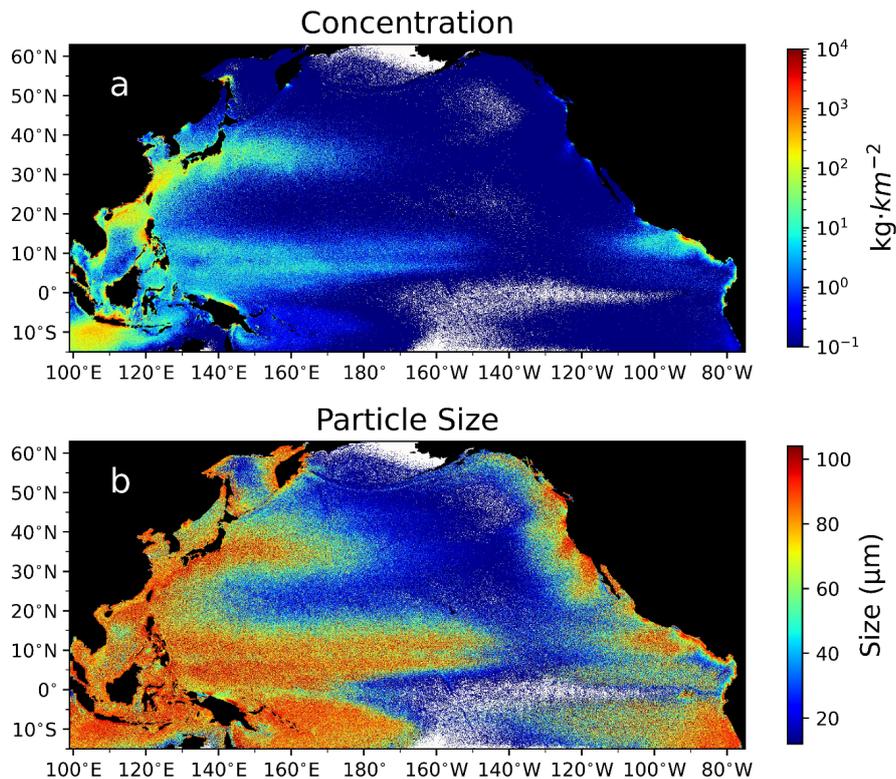


図 1 : 1951 年から 2015 年の間に海底に降り積もった沈降性マイクロプラスチックの分布密度 (上) と平均粒径 (下)

その結果、黒潮などの強い海流によって、粒径が小さく沈降速度の遅い沈降性マイクロプラスチックが沖合へと輸送されるため、沈降性マイクロプラスチックの 22% が放出地点から 100km 以上沖合に堆積していることを明らかにしました。さらに、排出源から遠く離れた外洋においても、2000 年代以降急速に沈降性マイクロプラスチックの堆積が増加していることがわかりました (図 2)。

海洋に流出するプラスチックの約 4 割を占める沈降性マイクロプラスチックを評価した本研究結果は、今後海底マイクロプラスチック汚染に対する対策立案の科学的根拠となることが期待されます。

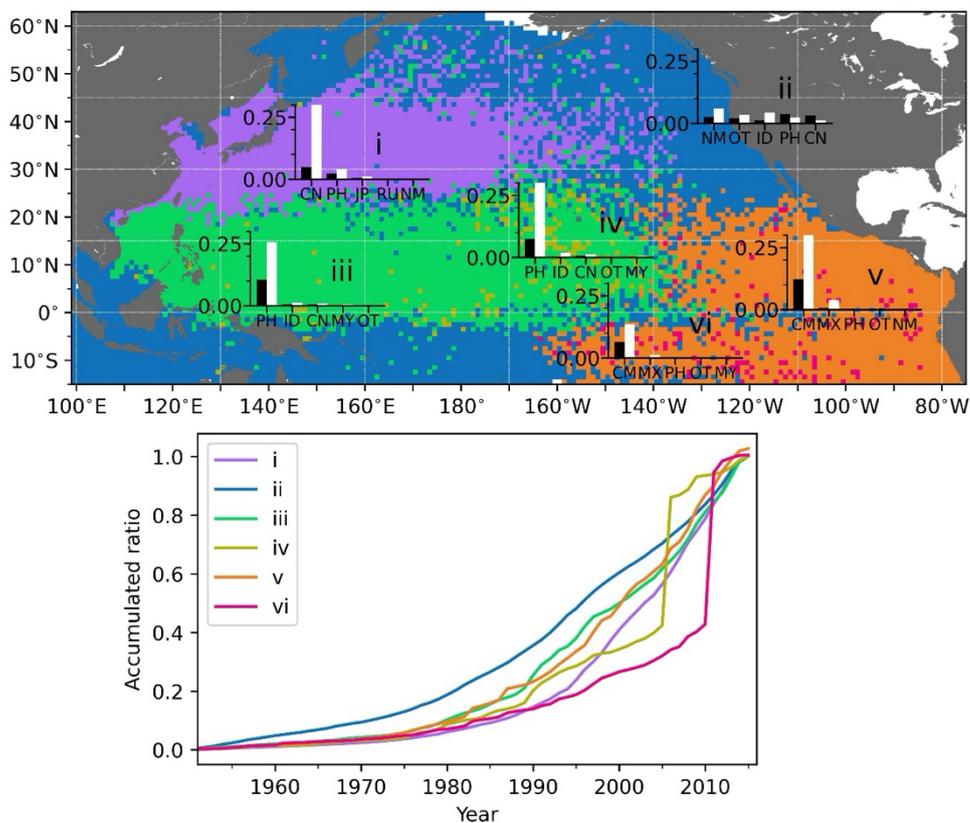


図 2：海底に堆積した沈降性マイクロプラスチックの流出元となる地域組成の時間変化に基づいた海域区分（上）。現在までの沈降性マイクロプラスチック堆積総量を 1 とした場合の、各海域における時間的堆積履歴（下）。2015 年でのマイクロプラスチック堆積量を 1 とした場合の、堆積履歴を表示。

雑誌名：Marine Pollution Bulletin

題名：Heterogeneous seafloor deposition of heavy microplastics in the North Pacific estimated over 65 years

著者名：Haodong Xu*, Yoshimasa Matsumura, Rei Yamashita, Hideyuki Nakano, Shin-ichi Ito*

DOI：10.1016/j.marpolbul.2025.117536

URL：https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.117536

非都市圏でも管理が必要なマイクロプラスチック

伊藤進一

東京大学大気海洋研究所

人々が廃棄しているプラスチックの一部は、正しく処理されず海域へと流れ込み、海洋マイクロプラスチックとして、海洋生態系に環境負荷を与えることが危惧されています。都市圏では、河川を通じてマイクロプラスチックが河口域から湾へと排出されていることが観測されていますが、非都市圏における観測は限定的で、その実態は不明なままでした。

そこで、非都市圏の小規模な市街地から湾へと流れ込む河川の河口域から湾中央にかけての観測点を設置し（図 1）、水中及び海底土中のマイクロプラスチックを測定し、都市圏の東京湾にマイクロプラスチック分布との比較を行ないました。

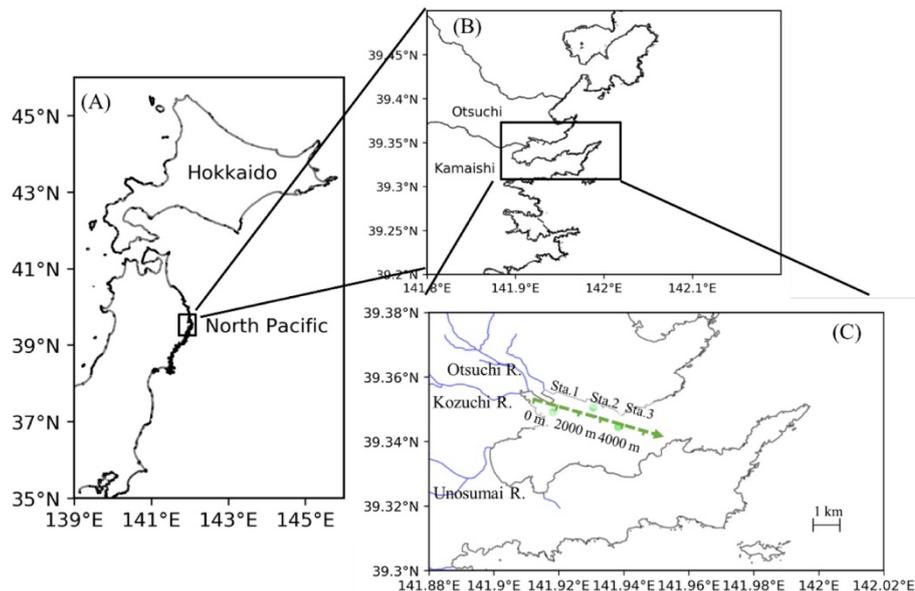


図 1：調査海域。(A), (B), (C) へと地図を拡大している。岩手県大槌湾の小槌川河口域から湾中央に向けて測点を配置。

その結果、湾内の海底土中におけるマイクロプラスチック数は、東京湾が非都市圏よりも 10 倍程多く分布していることがわかりました（図 2）。しかし、流域面積の人口は、東京湾の方が約 2000 倍あるため、人口当たりで比較すると、非都市圏の方が、圧倒的にマイクロプラスチックが多く分布していることがわかりました（図 3）。非都市圏におけるプラスチックの処理を徹底するとともに、下水処理施設などでのマイクロプラスチック回収の高度化が必要だとかんがえられます。

雑誌名：Regional Studies in Marine Science

題名：2023, Dynamics of microplastic transport and accumulation in a rural coastal area: Insights from the Otsuchi Bay, a small ria in Sanriku, Japan

著者名：Yehao Wang, Rei Yamashita, Yoshimasa Matsumura, Shin-ichi Ito, Kosei Komatsu

DOI：10.1016/j.rsma.2023.102964

URL：https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.102964

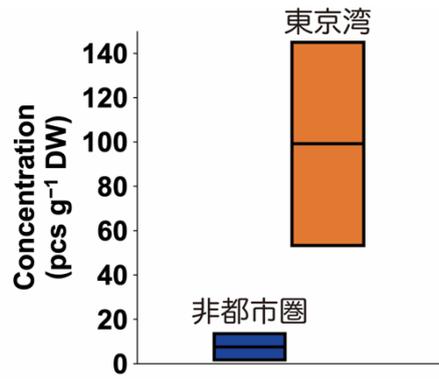


図 2：海底に堆積したマイクロプラスチックの海底土乾燥重量当たりの数の比較。箱の真ん中の線が中央値，箱は観測値の範囲。

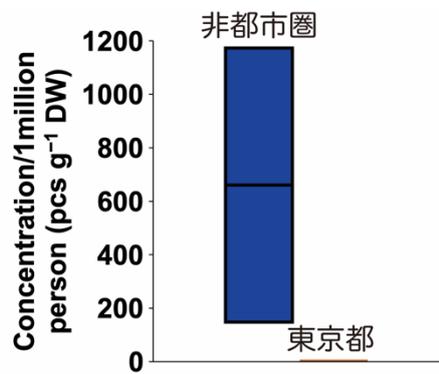


図 3：図 2 の海底に堆積したマイクロプラスチックの海底土乾燥重量当たりの数を流域人口で割って求めた人口 100 万人当たりの数。箱の真ん中の線が中央値，箱は観測値の範囲。東京湾の値は人口 100 万人当たり海底土乾燥重量あたり 5 個と小さいため，箱がほぼ見えていない。

海洋プラスチックごみ対策プロジェクト成果

高橋一生

東京大学大学院農学生命科学研究科

1. 世界最長のプラスチックごみ汚染履歴の解明 (図1)

1949年から2020年の間に水産研究教育機構によって採集された表層曳試料に基づき日本近海での過去70年間のプラスチック粒子分布の汚染状況変遷を復元し、その変動要因について考察しました。1950年代初頭に始まった日本周辺のプラスチックごみ汚染は密度、頻度とも70年代まで急速に高まり(増加期)、その後約35年間ほとんど密度が増えない時期(停滞期)を経て2010年代半ばから再び増加の兆し(再増加期)を見せていることが明らかとなりました。

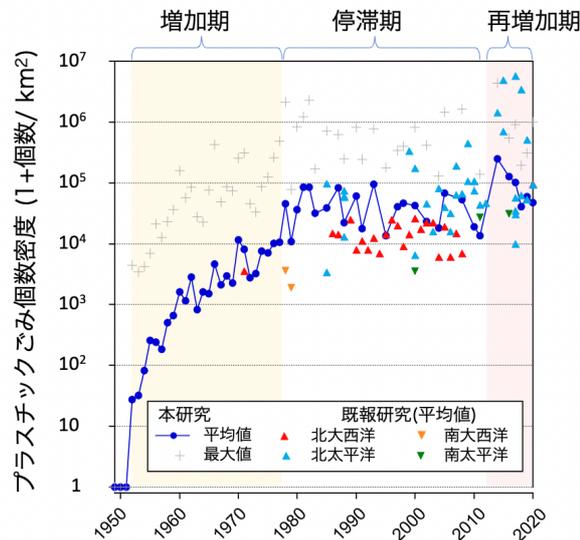


図1: 日本周辺海域(太平洋)における浮遊プラスチックごみ密度の時代変遷と先行研究における報告値の比較。

発表論文: Miyazono et al. (2025) Environmental Science & Technology, 59, 4608-4617.

<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.4c09706>

プレスリリース: 海の許容量を超えたマイクロプラスチック 一長期間安定後、2010年代に入り急激に増加開始—

https://www.a.u-tokyo.ac.jp/topics/topics_20250303-1.html

2. 黒潮域のプラスチックごみ分布の解明 (図2)

黒潮が非大蛇行流路をとった2014年2月におけるプラスチックごみの分布を、西日本南岸沖黒潮とその周辺海域98測点から採取された試料に基づき解析しました。プラスチックごみの密度は暖水渦や黒潮一沿岸水のフロントが形成される西部海域で高くなる傾向がありました。またポリマー組成や形状も東西で異なったことから、海洋環境や流出源の違いが黒潮域のプラスチックごみ分布や輸送に大きく影響していることが明らかとなりました。

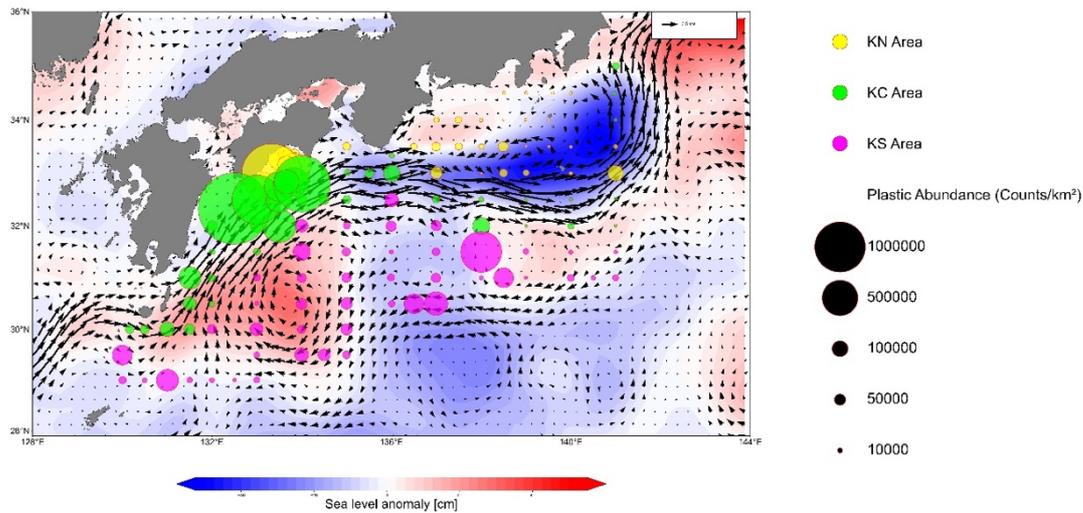


図2. 日本南西沖の黒潮域における浮遊プラスチックの分布。
 注: 海面水位偏差を色で, 地衡流パターンを矢印で示す。KN, KC, KS はそれぞれ黒潮北域, 黒潮流域, 黒潮南域を表す。

発表論文: Thushari et al. (2023) *Marine Pollution Bulletin*, 188, 114604.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114604>

3. 北太平洋外洋移行域表層のマイクロプラスチック分布実態を解明 (図3)

亜熱帯循環と亜寒帯循環の境界である北太平洋移行域外洋表層のプラスチックごみ密度が30年で約15%増加していること, 中央太平洋移行域に太平洋ゴミベルトに匹敵する高密度集積域が存在すること, ここでは従来沿岸域に留まると考えられていた, より小型で透明フィルム状のプラスチックごみが集積し, 汚染が外洋域に広く及んでいることを示しました。

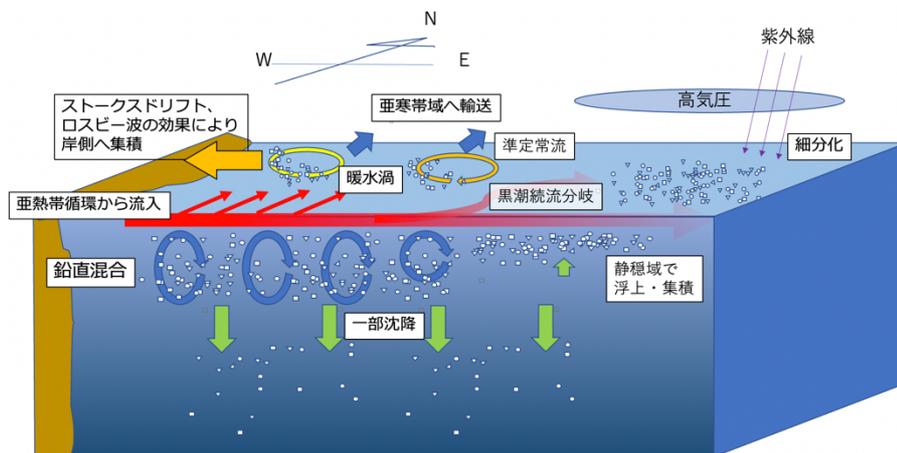


図3. 北太平洋移行域広域調査より推定された浮遊プラスチックごみの輸送と動態。

発表論文: Miyazono et al. (2022) *Marine Pollution Bulletin*, 170: 112631
 研究成果: 北太平洋外洋移行域表層のマイクロプラスチック分布実態を解明
https://www.a.u-tokyo.ac.jp/topics/topics_20210713-1.html

4. 繊維状プラスチックが動物プランクトン生残に与える影響を評価 (図4)

沿岸性カイアシ類が飢餓状態になると繊維状プラスチックを摂食する可能性が高まること、摂食した個体はその後死に至ることを実験的に示し、沿岸域における繊維状マイクロプラスチックの蓄積がプランクトン生態系に悪影響を与える可能性を指摘しました。

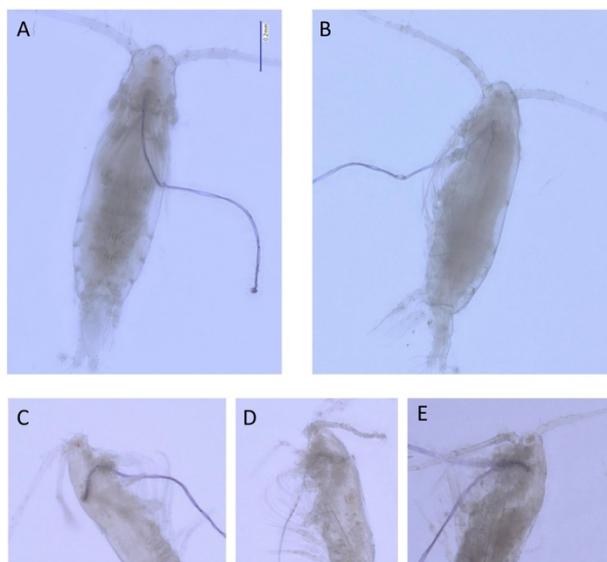


図4. 餌のない静置条件下での培養実験で得られた、長いマイクロプラスチック繊維を口にくわえたカイアシ類(*Acartia erythraea*). いずれもこの状態のまま24時間以内に死亡した。

注: a)とb)は同じ個体のそれぞれ腹側と背側を, c), d), e)は異なる個体を示す。

発表論文: Takahashi and Teh (2024) *Marine Pollution Bulletin*, 208: 117018

陸域から海域へのマイクロプラスチックの流出と マイクロプラスチックに起因する化学的物理的生体影響

高田秀重, 水川薫子, 渡邊泉
東京農工大学

プラスチックの多くは水より軽く、また生物によっては分解されないため、風や海流に流され、何千 km もの長距離運ばれる場合がある。それらのプラスチックの発生源は主に工業化が進んだ都市域であるが、長距離輸送されることにより、離島などの人為活動域から遠く離れた遠隔地に大量のプラスチックが漂着している。プラスチック自体が生物に与える影響も深刻であるが、プラスチックには添加剤と呼ばれる化学物質が含まれており、その中には人間を含む生物の生殖や成長に影響を与える内分泌攪乱作用を持つ物質があり、離島等の遠隔地の生物への影響が懸念されている。一方で、何千 km もの長距離運ばれる間に添加剤は分解されたりプラスチックから溶け出してしまうので、そのような化学的な影響はないのではないかという意見もある。そこで、この研究では、離島等の遠隔地を含む世界 37 海岸で採取したプラスチック粒（レジンペレット）中の添加剤の一種ベンゾトリアゾール系紫外線吸収剤の分析を行った。レジンペレットはプラスチック製品の中間材料で、レジンペレットの形で石油からプラスチックが合成され、レジンペレットを成型工場に運び、延ばしたり型に入れたりして製品が作られる。レジンペレットは取り扱いや輸送の際にこぼれて地面や路上に落ち、それが雨で洗い流され、川、そして海へと流されてくる。また、レジンペレットを船舶で輸送している船が港に停泊している時に、事故や嵐等の際にレジンペレットが流出することもある。これらのレジンペレットは浮いて生分解されないことから世界中の海岸に漂着している。そして、今回、南極に近い無人島のマコーリ島、小笠原や八丈島の海岸で採取されたレジンペレットから都市沿岸域の海岸で採取されたレジンペレットと同じレベルの高濃度の添加剤紫外線吸収剤が検出された (Matsunaga et al., 2022, 図 1)。このことは、レジンペレットに練り込まれた添加剤が分解や溶け出すことがなく、何千キロも国境を越えて長距離輸送されていることを示している。今回の結果はレジンペレットについてのものであるが、同じような数 mm 程度の大きさのプラスチック製品の破片でも同じことは起こっている。これらの結果は、添加剤等プラスチックに関連する化学物質の国際的な規制の必要性を示す証拠として、国際条約の関係者からも注目を集めている。

一方で、長距離運ばれてもプラスチックから添加剤が溶け出さないなら、離島の生物がそのプラスチックを摂食しても、添加剤の影響はないのではないかと考える人もいるかもしれない。しかし、もっと厄介なことが実際には起こっている。海岸に漂着したプラスチックはそのまま放置されると、紫外線や熱で劣化して、細かくなって、マイクロプラスチックになっていく。微細化したプラスチックから、添加剤が溶け出して、貝の組織にたまっていくことも、私達は明らかにしてきた (Takano et al., 2024, 図 2)。特に貝にたまりやすい添加剤はレジンペレットからも検出されたベンゾトリアゾール系紫外線吸収剤である。

以上 2 つの研究からわかったことは、プラスチックが有害化学物質の生物への運び屋になるということである。せめて海岸に漂着したごみの回収（海岸清掃）は行いたいですね。でも、プラ

スティックにもともと化学物質が練り込まれているのであれば、プラスチックを使わないように減らして、私達の健康を守りたいですね。今国連で議論されているプラスチック条約でも、このような観点から、プラスチック消費量の削減が検討されています。

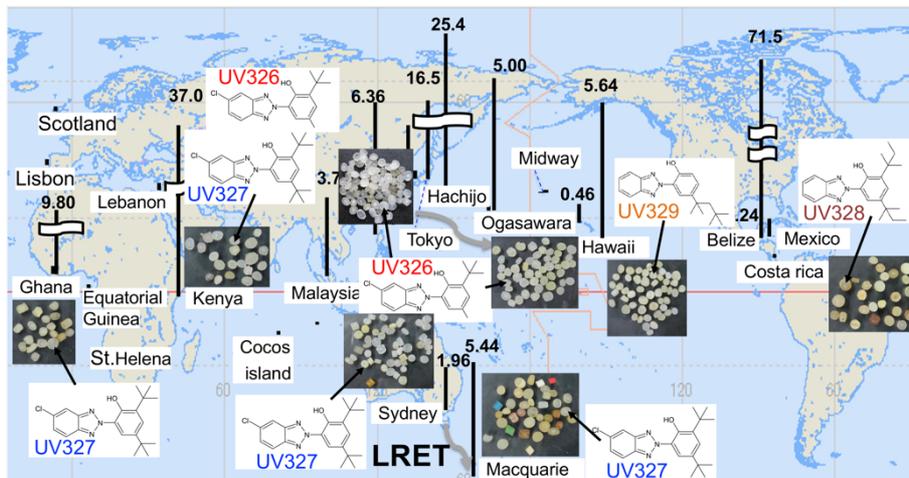


図 1

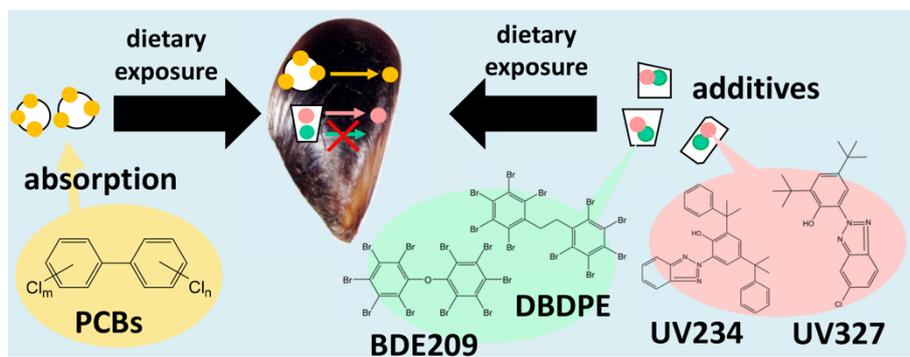


図 2

生物へのマイクロプラスチックの取り込みとその影響

井上広滋
大気海洋研究所

1. 魚類のマイクロプラスチック取り込みとその影響に関する研究

実験動物として優れた性質をもち、かつ海水・淡水どちらにも適応できるジャワメダカの稚魚と、蛍光ポリスチレン粒子 (1 μm) をモデルとして用いて、粒子の取り込みと排出が海水・淡水中では異なることを発見した。

海水中において粒子がより多く取り込まれ (図1), その原因は、海水中では淡水中より多くの水を飲む魚類共通の性質により、粒子を「誤飲」するためであることがわかった (論文1)。排出についても、短期的には、消化管内の水の動きが活発な海水魚のほうが速く、さらに、餌を与えると排出は促進された。しかし、5日間観察を続けると、淡水中の稚魚の消化管からは粒子が検出されなくなったのに対し、海水中の稚魚の消化管には少数の粒子が残留していた (図2, 論文2)。初期の取り込み量の多さと、消化管の微細構造が異なることが主な原因と考えられた。

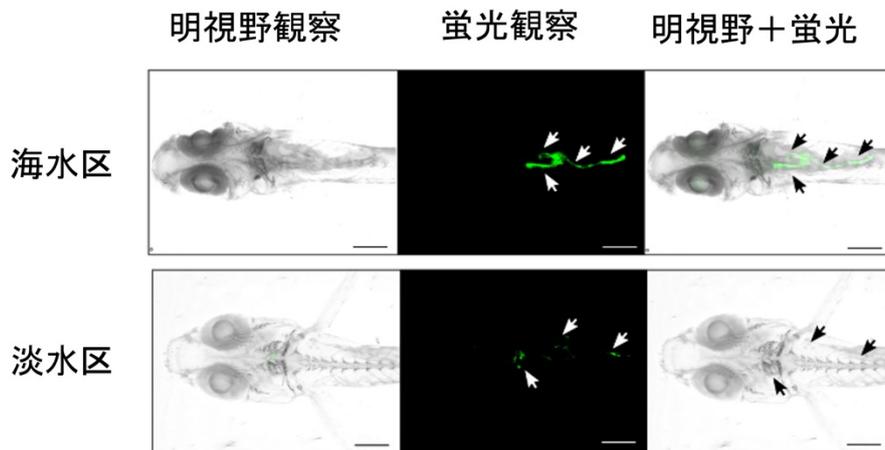


図1. 海水中・淡水中でのジャワメダカ稚魚のマイクロプラスチック粒子の取り込み。

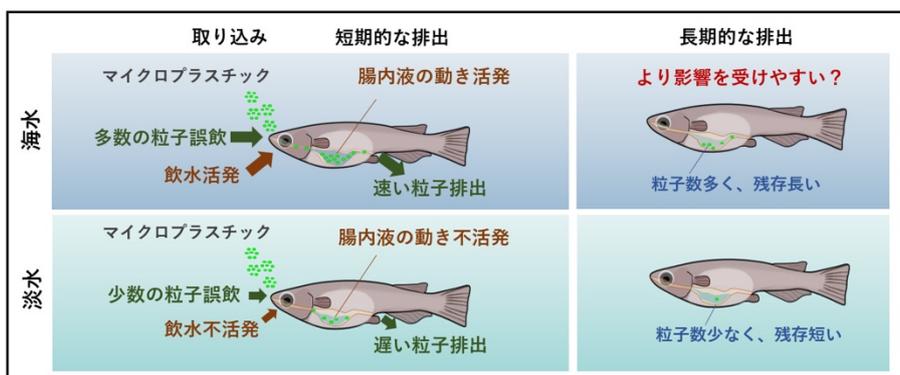


図2. 海水中・淡水中でのマイクロプラスチック粒子の取り込み・排出過程の違い。

マイクロプラスチックの生物への有害影響は、主として粒子が体内にある時に生じる。したがって、同じ濃度の微小マイクロプラスチック粒子に曝露された場合には、より多くの粒子を取り込み、長く体内に残留させる海水中の魚類のほうが影響を強く受けると考えられる。また、海水中で水を多

く飲む性質は魚類全般に共通であるので、海水魚のほうがマイクロプラスチック汚染の影響を受けやすいと考えられる。

一方、取り込まれた粒子の生体影響を調べる際の感度を上げることを目指して、有害物質の分解や排出に関わる酵素「Cyp1a」の遺伝子（論文3）を、クリスパーキャスナイン法という方法で破壊（ノックアウト）したジャワメダカ系統を作製して（論文4）、代表的な環境汚染物質のグループである「多環芳香族炭化水素（PAHs）」に含まれる2種類の物質に曝露したところ、一方の物質（ピレン）に対しては予想通り感受性が高くなったが、もう一方（フェナントレン）に対しては感受性が低くなった。すなわち、毒性物質には、体内の酵素で分解されて毒性が弱まるものと、分解されてより毒性が強まるものがあり、Cyp1a ノックアウト系統は両者を見分ける手段になることがわかった。現在、同系統の体内で起こっている現象を、発現遺伝子の網羅的解析により、把握しようとしている。

2. イガイ類のマイクロプラスチック取り込みとその影響に関する研究

二枚貝であるイガイ類（ムール貝の仲間）は、水中の懸濁粒子をろ過して取り込む性質があるため、マイクロプラスチックの影響を受けやすいと考えられる。ピーカーの中にムール貝の一種であるムラサキイガイと海水を入れ、蛍光ポリスチレン粒子を懸濁させて観察したところ、約30分でほぼすべての粒子を吸い込む様子が観察できた（図3、論文5）。また、吸い込んだ粒子の生体への影響を遺伝子発現の変化から調べるための準備として、環境汚染が著しい東南アジア地域の主なムール貝であるミドリイガイについて、全ゲノム解析も実施した（論文6）。

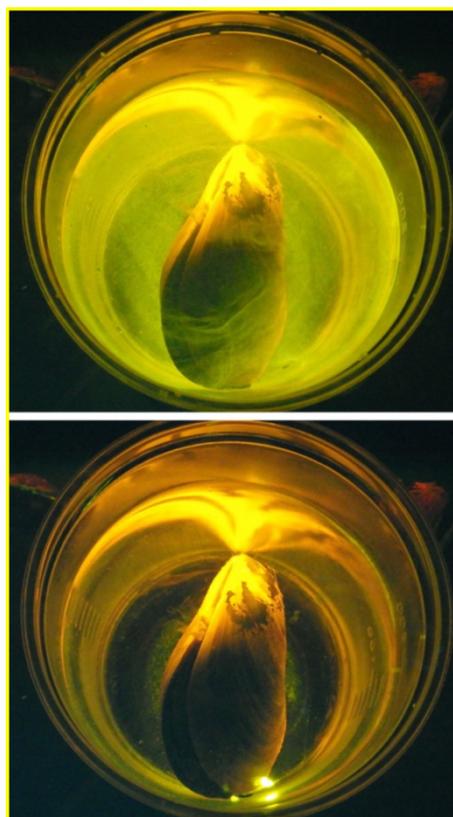


図3 ムラサキイガイのマイクロプラスチック粒子の取り込み。水中に懸濁したポリスチレン粒子（上段、黄色）は、約30分でほぼすべて貝に吸収される（下段）。

主な発表論文

- 1) HM Pratiwi, T Takagi, S Rusni, K Inoue (2023) Euryhaline fish larvae ingest more microplastic particles in seawater than in freshwater. *Scientific Reports* 13, 3560.
(プレスリリース：<https://www.aori.u-tokyo.ac.jp/research/news/2025/20250115.html>)
- 2) HM Pratiwi, T Takagi, S Rusni, K Inoue (2025) Osmoregulation affects elimination of microplastics in fish in freshwater and marine environments. *Science of the Total Environment* 962, 178293.
(プレスリリース：<https://www.aori.u-tokyo.ac.jp/research/news/2023/20230310.html>)
- 3) S Rusni, M Sassa, Y Takehana, M Kinoshita, K Inoue (2020) Correlation between cytochrome P450 1A (cyp1a) mRNA expression and ambient phenanthrene and pyrene concentration in Javanese Medaka *Oryzias javanicus*. *Fisheries Science* 86, 605-613.
- 4) S Rusni, M Sassa, T Takagi, M Kinoshita, Y Takehana, K Inoue (2022) Establishment of cytochrome P450 1a gene-knockout Javanese medaka, *Oryzias javanicus*, which distinguishes toxicity modes of the polycyclic aromatic hydrocarbons, pyrene and phenanthrene. *Marine Pollution Bulletin* 178, 113578.
(研究トピックス：<https://www.aori.u-tokyo.ac.jp/research/topics/2022/20220325.html>)
- 5) K Inoue, Y Onitsuka, T Koito (2021) Mussel biology: from the byssus to ecology and physiology, including microplastic ingestion and deep-sea adaptations. *Fisheries Science* 87, 761-771
- 6) K Inoue, Y Yoshioka, H Tanaka, A Kinjo, M Sassa, I Ueda, C Shinzato, A Toyoda, T Itoh (2021) Genomics and transcriptomics of the green mussel explain the durability of its byssus. *Scientific Reports* 11, 5992.
(プレスリリース：<https://www.aori.u-tokyo.ac.jp/research/news/2021/20210316.html>)

マイクロナノプラスチックの人体影響評価： 培養小腸モデルを用いた人体への取り込み評価*

酒井康行，楠原洋之

東京大学大学院工学系研究科，大学院薬学系研究科

マイクロナノプラスチック（MNP）は、環境中から人体内にも取り込まれていますが、その取り込みメカニズムは明確ではなく、その後の人体への影響も明らかになっていません。本研究グループは、ヒト培養細胞からなる臓器モデルと数理シミュレーションの融合による人体影響予想手法の開発を進めています。本研究では、MNPの人体内への吸収経路の正確な理解を目指し、人体と同じく複数の細胞からなる高度なヒト培養小腸モデルを作成、様々なサイズのMNPの透過を系統的に検討しました。

今回構築した培養小腸モデル（図1）は、三種の細胞—吸収上皮細胞、粘液を分泌する杯細胞、免疫による生体防御のためにバクテリアを認識して敢えて取り込むM細胞—を膜型培養器上に共培養したものです。内腔側（図の上側）に様々な大きさのMNPを投与し、その体内側への取り込みを観測しました。その結果、比較的小さな50 nmと100 nmのMNPは、すべての細胞に共通である細胞間隙を介した非特異的な取り込みや、栄養素の取り込みのためのエンドサイトーシスにより良く取り込まれましたが、500 nmと比較的大きな粒子の取り込みには、M細胞の存在が必要であることが示されました。

以上の実験結果は、生体がバクテリアと同程度の大きさのMNPをバクテリアとして認識し、それに対する免疫惹起のためのメカニズムによって取り込むことを裏付けたものです。またこの結果から、50 nmと100 nmといった小さなMNPはおおむね小腸の血管に移行し肝臓を経由して全身に回りますが、500 nm程度のバクテリアと同様の大きさの粒子については、M細胞からリンパ管に入り、その後に血液へと移行すると考えられます（図2）。このように、MNPの大きさに応じて取り込み後の体内動態が異なるという知見は、その後の人体影響を予測する上で、極めて重要な知見と言えます。

人体にはバクテリア等を貪食し、活性酸素を使用して分解する機能を有した好中球や単球やマクロファージが多量に存在します。しかし、この作用ではMNPは分解されません。MNPは人体からの排泄も難しいため、人体内へ徐々に蓄積されると考えられていることから、今後、長期に渡る蓄積量の緩慢な増加というシナリオに焦点を当てた人体影響

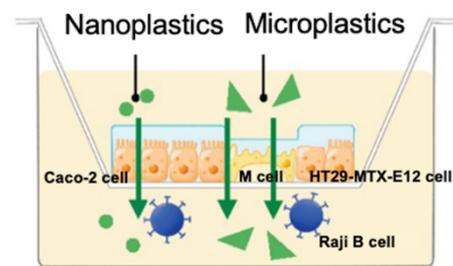


図1：人体と同じく複数種の細胞からなる高度な培養小腸モデル。

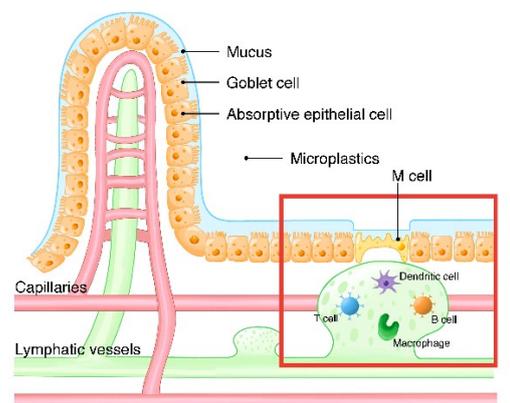


図2：腸管からのMNPの取り込み。小さな粒子は直接血管へ取り込まれるが、バクテリアと同程度の大きな粒子は、M細胞から取り込まれリンパに取り込まれた後に血管に入ると考えられた。なお、赤枠内を生体外で再現したものが、図1の培養小腸モデルである。

予測に関する研究を推進する必要があります。このような長期の人体影響予測は現代の科学をもってしても非常に困難ですが、今後、人体での実計測結果や本研究のような高度な培養組織モデル、適切な数理シミュレーションの融合により、その予測性を向上できると期待しています。

- * **Size-dependent internalization of microplastics and nanoplastics using in vitro model of the human intestine—contribution of each cell in the tri-culture models, H. Choi, S. Kaneko, Y. Suzuki, K. Inamura, M. Nishikawa, Y. Sakai, *Nanomaterials*, 2024 Sep 2;14(17):1435. doi: 10.3390/nano14171435**

デザインの力で海ごみ問題を解決する OMNI 海ごみプロジェクト

左右田 智美, Miles Pennington
東京大学生産技術研究所

東京大学生産技術研究所の DLX デザインラボでは、「OMNI 海ごみプロジェクト」を通じて、海洋プラスチックごみ問題の解決に取り組んでいます。このプロジェクトは、デザイン研究者と地域住民が共に創り上げる、ごみ問題に関心が薄い人でも気軽に参加できる日常生活における行動変容を促す仕組みの構築を目指しています。神奈川県逗子市、愛媛県四国中央市、長崎県の3地域とそれぞれの特性に合わせた取り組みを実施しました。

PIGRA バッグホルダー: ごみ拾いをより楽しく効果的にするツール「PIGRA」を開発しました。野外での清掃活動で風で袋の口が小さくなる問題を解決するバッグホルダーです。リサイクル可能な紙を使用し、絵を描いてカスタマイズできます。約270名の参加者がPIGRAのワークショップに参加し、親子のごみ拾い活動を促進しました。

河川・テトラポッドごみ拾いツール「OMNI デルタ」: 海にごみが流出する前にごみ問題を解決するために、河川やテトラポッドなど、アクセスしづらい場所に漂着ごみが溜まりやすい問題に対応するため、手の届きづらい箇所でもごみを拾いやすくするためのツールや川ごみ拾いのためのガイドラインを作りました。

ビーチクリーンガイドライン: 逗子海岸でのビーチクリーン活動をサポートする、行政ルールに沿った実践しやすいガイドラインを作成し、逗子海岸に設置と配布を行いました。ビーチクリーンイベントで500枚以上配布されました。

アイデアワークショップ: 3つの自治体で、海ごみ問題を考えるためのワークショップや、私たちの開発したツールを用いたワークショップを実施し、高校生から大人まで様々な参加者がごみ問題に関する解決策を考えました。

実績: 約23回のワークショップを開催し約900人が参加、9回のイベントで累計約11万人が来場しました。12のプロジェクトで約70のプロトタイプを作成し、新聞やラジオなど8回のメディア露出がありました。第一期のOMNIマイクロプラスチックプロジェクトに関して書いた論文は、今期で国際学術研究誌 Citizen Science Theory and Practice へ掲載され、論文発表内容は日本経済新聞に取り上げられました。今期でOMNIマイクロプラスチックはグッドデザイン賞も受賞しました。デザインの展示 Designart 2024 にも展示を行いました。

行政パートナーからの声として、逗子市からは「行政とデザインプロジェクトの先駆的事例としての価値がある」、四国中央市からは「大人も子供も楽しくアイデア作りに取り組んでいた」、長崎県からは「民官学が連携しながらできるプロジェクトを今後も進めていけると良い」との声が寄せられています。このプロジェクトは、デザインの力を活用して海洋ごみ問題という世界的課題に地域レベルで取り組む新しいアプローチを示しています。市民参加型の仕組みづくりを通じて、持続可能な海洋環境の保全の取り組みを推進しました。



海洋プラスチック研究「地方自治体レベルでの

海洋プラスチック問題の検討」

城山 英明

東京大学未来ビジョン研究センター

「地方自治体レベルでの海洋プラスチック問題の検討」を行った第 II 期では、海洋プラスチック問題の構造を、所掌する法律や担当省庁・部局等ステークホルダー群の別から、大別して1. ビーチクリーン、2. 河川管理/清掃活動、3. 自治体の所掌事務としてのプラスチックリサイクル（資源循環）推進事業、4. 上流での発生抑制・代替品開発・産業連携等の4区分(図1)に分けて、全国的な動態を類型別に整理した。

活動領域	海岸(中)の対策 1. ビーチ・クリーン	2. 流域一環管理・ 川づくり活動と 清掃活動(投棄抑制)	自治体での対策 3. プラ資源循環促進 (ごみの適正回収強化等)	上流での対策 4. 発生源抑制・ 代替品開発
検討可能な 対策手段	・ 海岸漂着ごみ回収 ・ 陸域ごみ対策 ・ 残置ゴミ対策	・ 流入/流出制御 ・ 投棄ごみ抑制	・ ごみの適正回収処理 (飛散ごみ、街ごみ) ・ 6R→循環型社会形成	・ プラスチック削減 ・ Circular Economy 的 社会対応
主な担い手	海岸管理者等 ボランティア	河川管理者等 (地元住民)	市町村環境部局等 (地元住民)	国・産業界
現実的に要する 対応時間軸	短期で実践も可	短期～中期	中期～長期	中期～長期

図1：プラスチック問題の解決構造。

具体的な研究課題と調査結果の概要。

<公表済>

2023年4月	伊藤香苗(2023)「プラスチックごみ問題への対応と自治体各部局・関係者・地域の連携体制—ピーチクリーニング活動等に関する、神奈川県、沖縄県、静岡県、静岡県の県と市町村、関係者、地域の新しい協働の仕組みと構造分析—」(52頁)	調査概要と主な論点 全国で散見されているが、体系的に明らかになされていない、協働型のピーチクリーニングを類型的に整理し、連携成立の構造分析を行った。海岸漂着物処理推進法施行後の全国事例に共通的に発見されたのは、アクター間にピーチクリーニングに限定されない共通の便益がある時に連携が成立する可能性と、拾われたごみの処理方法について役割分担が明確ではなく、活動市民に負担が発生しているが、ごみの発生抑制などが具体的な行政課題となりにくい事実等である。	東京大学未来ビジョン研究センターワーキングペーパーNo. 22 https://ifv.u-tokyo.ac.jp/news/category/working-papers/
2024年6月	伊藤香苗(2024)「海洋プラスチックごみ対策に資する連携型河川管理と自治体の協働によるごみ発生抑制の試みに関する事例分析—埼玉県/東京都荒川下流、愛媛県重信川、脇川、宮城県仙台市広瀬川における協働型河川管理・河川清掃における連携成立と持続的運営のための構造分析、および神奈川県、東京都足立区、岡山県岡山市、愛媛県松山市における自治体の自主的な抑制施策に関する考察」(37頁)	体系的に明らかになされていない協働型の河川管理・清掃活動を類型的に整理し、「河川管理者」の位置付別に連携成立の事例分析を行った。全国的には既存の「流域協議会」の他にこれといった公的な枠組みが存在しない中、アクター間に河川清掃に限定されない共通の便益がある時に連携が成立する可能性と、河川管理や河川清掃の準備、および拾われたごみの処理方法について役割分担(費用分担)が明確ではなく、活動市民に負担が発生していることなどを課題として明らかにした。	東京大学未来ビジョン研究センターワーキングペーパーNo. 29 https://ifv.u-tokyo.ac.jp/news/category/working-papers/

<投稿中>

-	伊藤香苗・山口健介『自治体レベルでのプラスチック資源循環事業の動態と今後への展望—プラ新法が迫る再商品化事業における二者択一の政策化の現況と静脈流連携の観点から残される今後への課題』(20頁)	プラ新法施行に際して、海洋ごみ対策の観点からも期待される自治体のプラスチックリサイクルの推進活動(適正処理の強化)の現況と今後への展開可能性について調査を行い、自治体レベルでの動態を分析した他、循環型社会成立の観点より今後への課題について整理を行った。	廃棄物資源循環学会「廃棄物資源循環学会誌」
-	伊藤香苗『荒川下流における連携型河川管理体制と持続可能性に関する構造的分析—1990年代に試行された地域・市民連携型の川づくりとクリーンエイド活動のこれまでの系譜に焦点を当てて』	河川法改正(1997)に先立って表裏された荒川下流(埼玉県・東京都)における連携型川づくりにおける事業成立過程と枠組みについて調査を行い、連携の成立要因と市区町を含む連携の枠組みが今日の荒川クリーンエイド等の活動に貢献している実態を裏証的に説明した。	あらかわ学会「荒川放水路100周年誌」

国際的ラウンドテーブル構築等に向けた連携

道田 豊・牧野光琢, 山本光夫

(東京大学大気海洋研究所), (東京大学大学院農学生命科学研究科)

海洋プラスチック汚染が国際政治の場でも解決すべき重要課題と認識されたことを受けて、関係各国や国際機関における活動が活発化している。法的拘束力を持った文書(条約)の締結に向けた議論も進んでいるが、2024年11月に韓国・釜山で開催された第5回政府間交渉委員会(INC5)は、国際的合意を得ることができず、同文書について審議・交渉を継続することとなった。こうした国際環境の中、政策面でどのような対応が行われるかに関わらず、たゆまず研究を進めることの必要性は論を俟たず、研究コミュニティの中で本プロジェクトの存在を示し、わが国のプレゼンスを確保することが重要である。

こうした認識のもとで、海洋プラスチックに係る研究コミュニティおよびその周辺の国際的動向を把握し、本研究グループの研究活動とその成果が国内外に浸透することを期した活動を継続的に行った。その活動に参画したりコンタクトを取ったりした国際機関ないしグループ等は、ユネスコ政府間海洋学委員会(UNESCO/IOC), IOC 西太平洋小委員会 (IOC/WESTPAC), 国連海洋および海洋法局(UN DOALOS), 国連環境計画(UNEP), 国連工業開発機関(UNIDO), 欧州連合(EU), 北太平洋海洋科学機構 (PICES), Economist Impact など多岐にわたる。また、環境省が主宰する「海洋マイクロプラスチックモニタリング・データベース構築」の国際専門家会合にも参画したほか、日本海難防止協会が事務局を担っている「海事の国際的動向に関する調査研究(海洋汚染防止関係)」への参画を通じて、国際海事機関(IMO)の海洋環境保全委員会 (MEPC) 等における海洋プラスチック汚染に関する海事分野の対応の把握にも努めた。

とりわけ政府間海洋学委員会に関しては、2023年6月の同委員会第32回総会において、道田が議長に選出されたことから、現在IOCが中核となって進めている「持続可能な開発のための国連海洋科学の10年」に関連する大小各種のイベントや、海洋関連の多くの国際会議等に参加する機会が増えたため、海洋プラスチックに関連する議事が含まれている、あるいは会議の中で議論がそこに及ぶような場合には、本研究プロジェクトの活動を含めてこの分野における日本の研究動向について積極的にインプットするよう努めた。

これら一連の活動を通じて、当研究プロジェクトが中心となって「国際ラウンドテーブル」を構築するには至っていないものの、さまざまなレベルで当プロジェクトの認知度の向上には大きく貢献したものと思う。例えば、コロナ禍を挟んだ時期に欧州において進められた主として微小プラスチックの計測技術に関するプロジェクト EuroQcharm (<https://www.euroqcharm.eu/en/>)では、当研究プロジェクトおよび環境省の成果を踏まえた助言者に指名されたほか、国連環境計画が枠組み作りを進めている「プラスチック汚染と海洋ごみに関する国際プラットフォーム (GPML)」から参加を打診された。また、環境省が主体となって進めてきた「海洋表層マイクロプラスチックのモニタリング手法の調和化ガイドライン」(Michida et al., 2019; 2021)が、国際標準化機構(ISO)において標準化最終案として現在各国の投票に付されているところで、所要の手続きを経て早晩 ISO IS 5667 27 として登録される見込みとなっている。本件は当研究プロジェクトの直接の成果とは言い難いが、道田を含め当プロジェクトの関係研究者の貢献は決して小さくはなく、わが国全体として

のこの分野の進展に対する貢献であるものと評価されよう。

一方で国連工業開発機関（UNIDO）とは、国際的ラウンドテーブル構築に向けての具体的な連携を進めてきた。以下でその概要と成果について紹介する。

<UNIDO との連携>

UNIDO との連携は、東京大学海洋アライアンス連携研究機構で2014年度から実施されている海外インターンシッププロジェクトがきっかけで始まったものである。このインターンシップは、総合海洋基盤（日本財団）プログラム「海外インターンシップ人材育成プロジェクト」としてスタートし、現在も海洋学際教育プログラムにおいて継続されている。UNIDO、国際連合食糧農業機関（FAO）、国際原子力機関（IAEA）をはじめとする10の国際機関・研究機関と連携して大学院生の派遣を行って行く中で、UNIDO はこれまで最も多くの学生を派遣してきた国際機関であった。この教育面での緊密な連携が、本FSI海洋プラスチック研究での連携へとつながった。

FSI海洋プラスチック研究が始まった2019年度、UNIDOにおいても、廃棄物管理が不十分でプラスチックごみ問題が深刻なアフリカ地域を対象として、農業廃棄物を活用したプラスチック代替素材の製造と利用促進による石油由来のプラスチック使用量の削減を目指したプロジェクトが開始された。このプロジェクトをUNIDOと東大が共同で実施する形として、エジプトを対象としてプラスチックごみ削減の具体的方策の提示を目指すことになった。

本取組みの大きな特長は、UNIDO とのプロジェクト推進・連携をインターンシップに基づく大学院生のキャリアパス形成という教育活動を通じて実施してきたことである。山本が所属する農学生命科学研究科農学国際専攻では、農林水産業・環境に関わる社会的課題に対して英語での議論・グループワークにより解決策を検討する必修授業（演習）がある。この演習で「農業廃棄物を活用したプラスチック代替素材の製造」に関わるテーマを毎年提示し、グループワークに参加した学生（留学生・日本人）の希望者からインターン生を選抜し、UNIDOに毎年2名程度を派遣して海洋プラスチックに関わるプロジェクト・業務にUNIDO本部（ウィーン）で取り組む形とした。その結果、これまで10名もの学生がUNIDOでのインターンシップに参加している（2025年3月現在）。

継続的なインターンシップ生の派遣により、当初対象としたエジプトだけでなく、西アフリカ、東アフリカ、その他地域におけるUNIDOの新たなプロジェクト形成にも貢献している。更には、ケニア・東アフリカ共同体におけるプラスチック代替素材製造への農業廃棄物の活用など、グループワークでの成果を国際学会で学生が発表するまでにも至っている。一方で、インターンシップに参加した学生の感想からは、UNIDOでのインターンシップがキャリアパス形成に役立っていることが見て取れ、本取組みでは、国際機関との連携強化と大学院生のキャリアパス形成の両面で成果が得られていると考えている。

今後もUNIDOをはじめ、国際機関等との連携を更に強化しながら、研究プラットフォーム確立や情報発信を通じた国際的ラウンドテーブル構築より一層進めていきたいと考えている。