

亜熱帯生態系におけるマイクロプラスチックの汚染とその影響

熊本県立大学・環境共生学部

阿草哲郎

背景と目的

マイクロプラスチック (MP) とは、5mm 以下のサイズと定義される小さなプラスチックのことである。MP は、元々洗顔料などの製品中に含まれているもの・レジンペレットのようにプラスチックの原料となるものと、環境中に流出したプラスチックが紫外線 (UV) や波の力などによって徐々に劣化・破損していく過程で生成されるものと大きく 2 種類あり、前者を 1 次 MP、後者を 2 次 MP と呼んでいる。MP 自体は、1972 年にサルガッソー海で初めて報告されていたが (Carpenter et al., 1973)、近年、この MP による海洋生態系への影響について世界的に関心が高まっている。例えば、目に見えないほどの小さな MP がプランクトンに取り込まれ、その生物自体へのダメージとその生物を基底とする食物連鎖への影響、すなわち生態系構造の崩壊が危惧されている (Desforges et al., 2015)。さらにやっかいなことに、MP は海水から有害化学物質を吸着するため、MP を摂取した生物に有害化学物質の生物濃縮と毒性影響が問題となる。これらの問題は決して野生生物だけのものではない。我々人間も魚介類を摂取していることから、MP を蓄積した魚介類を介してヒトは MP に曝露することとなるため、ヒトの健康影響についても関連するものである (Wright and Kelly, 2017)。実際、魚 (Collard et al., 2017) や海水から作製した塩 (Karami et al., 2017) からも MP は検出されている。

このように MP の問題は世界中で注目されている一方で、日本における海洋生態系の MP 汚染の調査はまだまだ少ないのが現状である。とくに砂浜は、UV や熱が十分にあるためプラスチックが劣化しやすく、また波や風によって砂と接触することでプラスチックが摩耗しやすい環境であることから、海洋環境において MP が最も発生しやすい場所と考えられている (UNEP, 2016)。しかしながら、日本において砂浜における調査はほとんど実施されていない。また、沖縄のような島嶼部では、アジアから越境してきたプラスチックごみ由来の MP 汚染が懸念される。さらに、沖縄には亜熱帯固有の生態系、す

なわちマングローブやサンゴ礁が存在するが、これらのフィールドにおける MP による生物相への影響が危惧される。近年の研究によると、サンゴも MP を蓄積していること、本来の餌よりも MP を好んで取り込んでいること (Rotjan et al., 2019) が報告されていることから、サンゴの死滅およびそれに伴うサンゴ礁生態系の崩壊が危惧されている。

そこで本研究は、沖縄の亜熱帯生態系を対象に、MP 汚染の実態と影響について明らかにする。具体的には、砂浜とサンゴや貝、メヒルギ、魚類に着目し、環境と生物の両方に含まれる MP の量・種類を測定する。またサンゴについては、飼育実験を通じて MP による取り込みや毒性について調査し、MP の影響の閾値を算出する。

① MP の汚染モニタリング調査

日本の亜熱帯生態系における MP 汚染の実態を明らかにするため、2023 年 11 月に沖縄県の与那国島の沿岸 4 地点 (祖納東・カタブル浜・ナーマ浜・ツア浜) で調査を実施した (図 1)。与那国島は日本で最も台湾に近く、我々の先行研究 (台湾・桃園市・Zhuwei Beech) の結果と比較するために選択した。砂浜では、汀線に沿って 1 m x 50 m の区画を取り、海ごみ (プラスチック、ガラス、金属、流木、その他) と砂 (各地点で $n=5$) を採取した。海ごみについては、ラベルなどの文字を確認し、海外製品か確認した。



図 1. 与那国島における調査地点.

採取した砂 (50 g) は、乾燥させ、目合 4.75 mm、1 mm、0.1 mm のふるいにかけたものを 60% ヨウ化カリウム水溶液で比重分離した後、過酸化水素でプラスチック以外の有

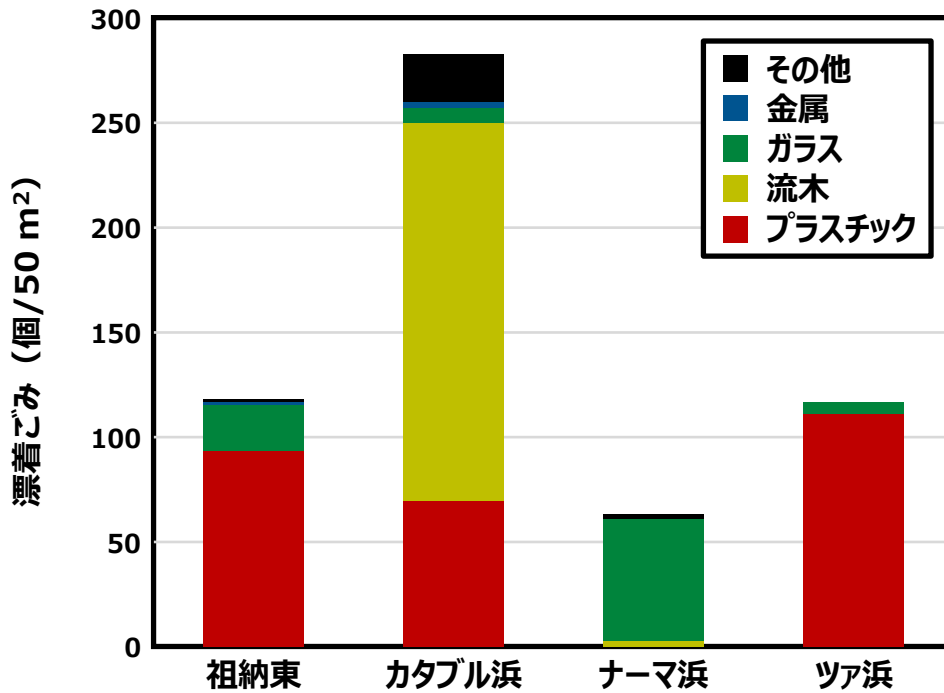


図2. 与那国島の砂浜における漂着ごみ.

機物を分解した。その後、ナイルレッドで染色した残留物を蛍光顕微鏡下で観察し、蛍光を発したものをMPとして計数した。

与那国島の沿岸4地点の水深1–3mのところ、イシサンゴ類（ハマサンゴ属・ミドリイシ属）を採取した（各地点・各種でn=5）。なお、イシサンゴ類の採取にあたっては、沖縄県の認可（沖縄県指令農第1520号）を得て実施している。採取したイシサンゴ類（10g）は、乾燥・粉砕後、塩酸で処理し、主成分である炭酸水素カルシウムを分解した。残留物を目合4.75mm、1mm、0.1mmのふるいにかけ、砂と同様に処理し、MPを計数した。

なお、当初の計画では、貝、メヒルギ、魚類を予定していたが、調査した与那国島4地点の砂浜において、貝やメヒルギを見つけることができなかった。また魚類についても、釣りや銚による採取を考えていたが、漂着ごみやイシサンゴ類の採取に時間がかかったため、断念した。

現地調査の結果、すべての砂浜から漂着ごみが見つかった（図2）。場所的には、カタブル浜で漂着ごみが最も多く、ナーマ浜で最も少なかった。重量ベースでは、カタブル浜で漂着ごみが最も重く、ツア浜で最も軽かった。漂着ごみの種類としては、プラスチックが最も多かったが、ナーマ浜では見つからなかった。ナーマ浜は、与那国の観光地として有名なビーチである一方で、これまでに漂着ごみの量が多いことが報告されている（沖縄県, 2019）。このような背景から、ナーマ浜での清掃活動の頻度が高まったた

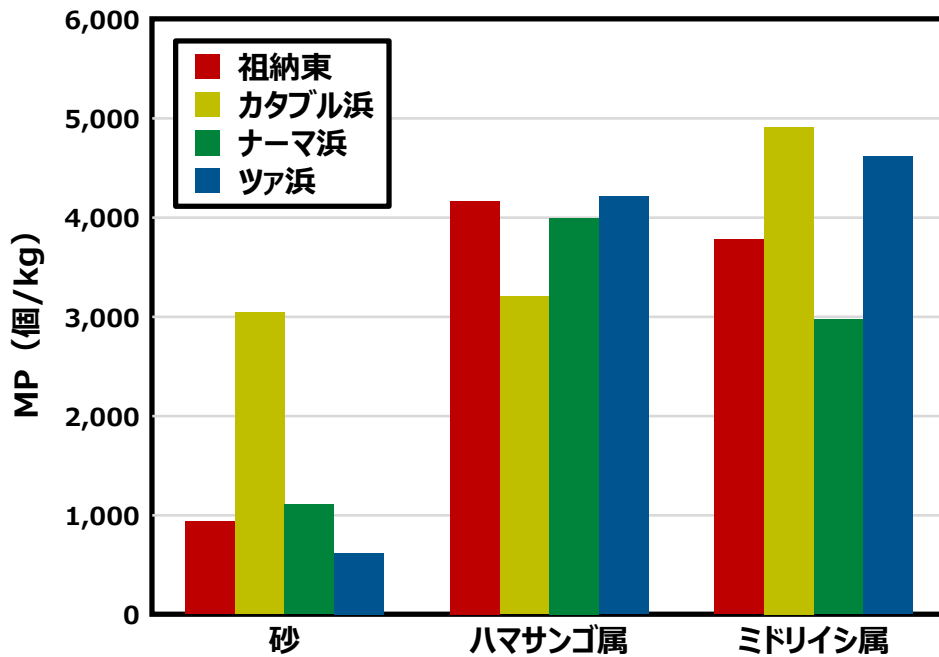


図3. 与那国島の砂浜の砂およびイシサンゴ類（ハマサンゴ属・ミドリイシ属）におけるマイクロプラスチック（MP）.

め、今回の調査は以前と異なる結果が得られたと考える。また、見つかったプラスチックについては中国語で表記されたものも散在しており、中国あるいは台湾から越境して与那国島に漂着していることが分かった。カタブル浜では、場所的にもごみの種類のにも流木が最も多かった。この結果は、与那国島4地点でカタブル浜が最も漂着ごみ・木が少なかったという沖縄県による調査報告と異なっていた（沖縄県, 2019）。現段階でカタブル浜にごみが高蓄積した理由は不明であるが、今後定期的に調査することで情報が得られるかもしれない。

本研究では、0.1–0.475 mm のサイズの MP を結果として取り扱う。砂浜の砂の MP については、すべての砂浜から検出され、その濃度は 608–3,040 個/kg であった（図3）。砂浜4地点の中では、カタブル浜で MP 濃度が最も高かった。我々の台湾での先行研究の結果（1,300 個/kg）と比較すると、与那国島の MP 濃度（平均値；1,420 個/kg）は同程度であった。

与那国島4地点の砂浜の漂着プラスチックと砂の MP の間には有意な関係が認められなかった（Pearson の相関係数、 $p > 0.05$ ）。このことから、砂浜に漂着したプラスチックが MP の発生源となっているだけでなく、MP 自体が海から砂浜に漂着していることが示唆された。また、プラスチックが見つからなかったナーマ浜の砂からも MP は検出されていることから、清掃活動があったとしても、小さな MP は十分回収しきれていないことが考えられた。

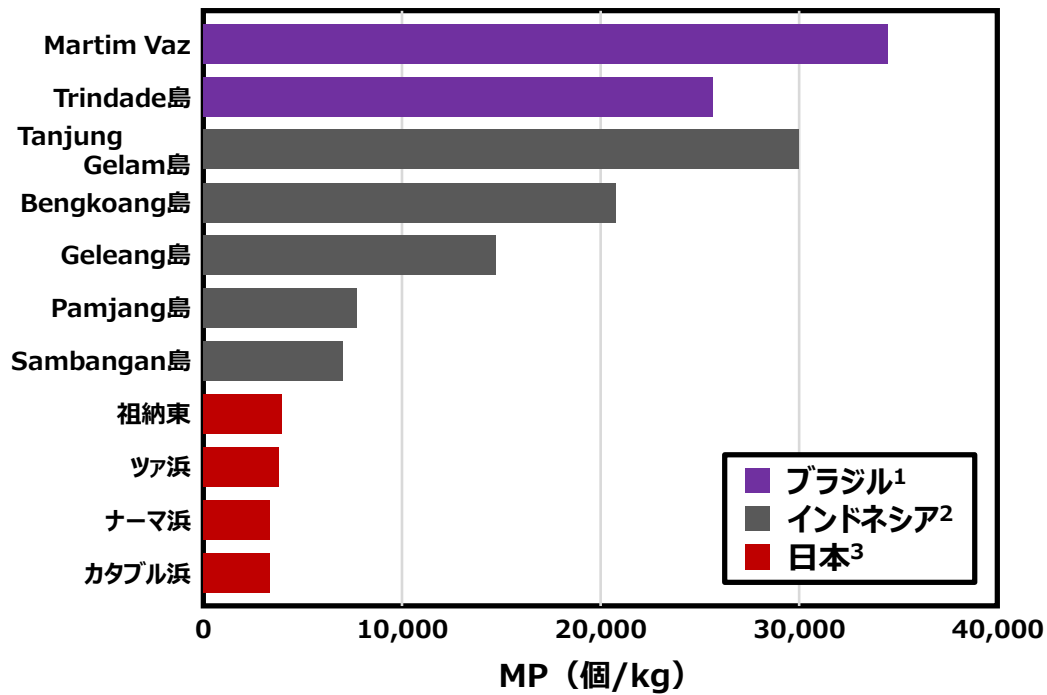


図4. サンゴにおけるマイクロプラスチック (MP) の比較. 1; Rani-Borges et al., 2023, 2; Wijayanti et al., 2024, 3; 本研究.

今回調査したすべてのイシサンゴ類からも MP は検出され、日本の亜熱帯地域のサンゴにも MP 汚染が進行していることが初めて確認された (図 3)。MP 濃度は 2,970–4,920 個/kg であり、種間における MP 濃度の差は認められなかった (t-test, $p > 0.05$)。また地域差についても、ハマサンゴ属とミドリイシ属それぞれで有意差はなく (ANOVA, $p > 0.05$)、同様な傾向はみえなかった。他海域の先行研究の結果と比較すると、本研究で得られた MP 濃度は相対的に低値であった (図 4)。このため、日本の亜熱帯地域に生息するサンゴの MP 汚染はそれほど重度でない可能性がある。しかしながら、サンゴに関する MP の研究についてはまだまだ少なく、サンゴの種や採取深度、分析方法の違いなどの要因があるため、現段階での厳密な比較はできていないと考える。

一方で、本研究のイシサンゴ類の MP 濃度は、同地点の砂浜の砂よりも有意に高値であった (図 3 ; t-test, $p < 0.05$)。また、漂着プラスチック、砂中 MP とサンゴ中 MP の間には有意な関係性が得られなかった (Pearson の相関係数, $p > 0.05$)。以上のことから、サンゴは砂浜由来の MP だけでなく、島外から海を介してもたらされた MP を高濃縮していることが示唆された。

今回の与那国島の調査結果から、島の環境および生物の MP 汚染のルーツを明らかにするために、今後の課題として、与那国島周辺海域の MP の分布・挙動に関する調査が重要であると考えられた。

表1. MP曝露によるサンゴの死亡率（%）.

時間	12 h	24 h	48 h	72 h	96 h
コントロール群 (<i>n</i> = 13)	0	0	0	0	0
MP曝露群 (<i>n</i> = 13)	0	0	0	0	0

② MPの毒性影響評価

MPの毒性影響評価のため、本研究ではサンゴのモデル生物として、素人でも飼育が容易であるマメスナギンチャクを購入、実験室環境下（水温 27°C、明暗周期 12 時間、容量 3L）で飼育し、海水経由で MP 粒子に 96 h 曝露させた (*n*=13)。MP 粒子には、粒径 1 μm の蛍光ポリスチレンビーズを用い、曝露濃度を 1×10^7 個/mL とした。この濃度は、本研究で設定可能な最大濃度である。毒性影響として、MP 曝露の 24 h、48 h、72 h、96 h 後の死亡率をカウントするとともに、タイムラプスカメラでサンゴ（マメスナギンチャク）の形態変化を観測した。なお、MP を曝露しないコントロールについても、同じ飼育条件で実験した (*n* = 13)。実験終了後、サンゴは液体窒素で瞬時に凍結し、その後 -80°C の超低温冷凍庫で保存した。

96 h の毒性試験の結果、サンゴ（マメスナギンチャク）はどの時間帯においても死亡しなかった（表 1）。また、カメラでの観測結果、MP 曝露によるサンゴの変化も見られ

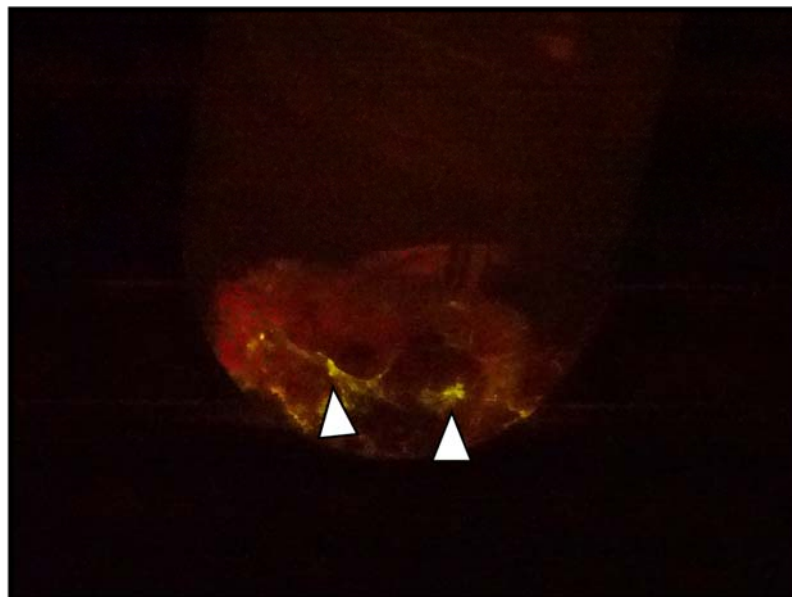


図5. サンゴ（マメスナギンチャク）に取り込まれたMP（蛍光ポリスチレンビーズ）.

なかった。一方で、サンゴ内からはMPが検出されたことから、少なくともサンゴがMPを取り込んでいることは確認できた（図5）。

今回のMPの曝露濃度でサンゴ（マメスナギンチャク）の死亡を確認することができれば、さらに曝露濃度を細かく設定した実験を行うことで死亡個体を計数し、50%致死濃度（LC₅₀）を求める予定であったが、実際にはサンゴは死亡せず、また見かけ上の変化も全く確認することができなかった。このことから、今回用いたサンゴはMPに対して強い耐性を持っている可能性が示唆された。一方、本実験では1wと3wの長期曝露も予定していたが、試薬調整のミスにより、96hまでの短期間分しかMP曝露溶液を用意することができなかった。MPの長期曝露についても今後の課題である。

今回の実験で表面上での影響はみられていないが、生き残ったサンゴ（マメスナギンチャク）からRNA・タンパク解析用のサンプルを集めることができた。今後、遺伝子やタンパクの網羅的解析を実施することで、MP曝露によるサンゴ体内での影響を評価することが可能である。一方で、実際に海に生息しているマメスナギンチャクを採取し、野生と実験室での結果を相互に比較しながら影響をみていくことは課題である。

参考文献

- Collard et al., 2017. Microplastics in livers of European anchovies (*Engraulis encrasicolus*, L.). *Environmental Pollution* 229, 1000-1005.
- Desforges et al., 2015. Ingestion of Microplastics by Zooplankton in the Northeast Pacific Ocean. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 69, 320-330.
- Karami et al., 2017. The presence of microplastics in commercial salts from different countries. *Scientific Reports* 7, 46173.
- Rani-Borges et al., 2023. Unveiling the hidden threat of microplastics to coral reefs in remote South Atlantic islands. *Science of the Total Environment* 897, 165401.
- Rotjan et al., 2019. Patterns, dynamics and consequences of microplastic ingestion by the temperate coral, *Astrangia poculata*. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 286, 20190726.
- UNEP, 2016. MARINE PLASTIC DEBRIS AND MICROPLASTICS: GLOBAL LESSONS AND RESEARCH TO INSPIRE ACTION AND GUIDE POLICY CHANGE.
- Wijayanti et al., 2024. Characteristic and histological evidence of microplastic in scleractinian corals of Java Sea. *Egyptian Journal of Aquatic Research* 50, 95-102.
- Wright and Kelly, 2017. Plastic and Human Health: A Micro Issue? *Environmental Science and*

Technology 51, 6634-6647.

- 沖縄県, 2019, 令和元年度沖縄県海岸漂着物等地域対策推進事業報告書.