

マイクロプラスチック問題の位置付けと現状 ～研究者の視点から～

大阪市立環境科学研究センター 中尾 賢志

1. マイクロプラスチックって何？

2015年9月「国連持続可能な開発サミット」の成果文書として、「我々の世界を変革する：持続可能な開発のための2030アジェンダ」が採択された。同アジェンダにおける17の目標（持続可能な開発目標（SDGs））の14番目として「持続可能な開発のために海洋・海洋資源を保全し、持続可能な形で利用する」が明記され、海洋ゴミやマイクロプラスチックといった問題も重要な事項として確認された[1]。また、2016年1月の世界経済フォーラムでは、2025年までに海洋のすべての魚介類の3分の1に当たる量（重量ベース）のプラスチックが海洋に流出し、2050年までには魚の量を流出プラスチックの量が超えると報告[2]されており、世界的に喫緊の問題であるという認識が広がりつつある。

現在の定義では、マイクロプラスチックは5 mm以下の微細なプラスチックを指し、「一次的マイクロプラスチック」と「二次的マイクロプラスチック」に分類される。これらはそれぞれ起源が異なり、前者は洗顔料や歯磨き粉などのスクラブ剤など研磨剤として添加する目的で製造されたマイクロビーズ（写真1）で、大部分は下水処理場や浄化槽に流入し、大部分が除去されていると考えられる。後者はプラスチック製品（主に漂着ごみ）が沿岸域において波浪や紫外線で破砕・微細化されて発生したもの（写真2）で環境中に広く分布している。いったん環境中に流出したマイクロプラスチックは回収不可能であり、そのまま環境中に残存することとなる。南極海や深海魚から発見されたという報告事例も存在する[3, 4]。

マイクロプラスチックはPOPs（残留性有機汚染物質）吸着能力が高く、一度内湾、外洋に出てしまえば産業活動が盛んな陸域に存在するPOPsを汚染の少ない外洋へと輸送することで広く生態系をPOPsが汚染する要因となる可能性があるため、いずれは魚介類として人間といった高次捕食者に返ってくることが懸念されている。また、プラスチックは可塑剤や難燃剤をはじめとする様々な添加剤を含んでおり環境中に放出されること自体好ましいことではない。

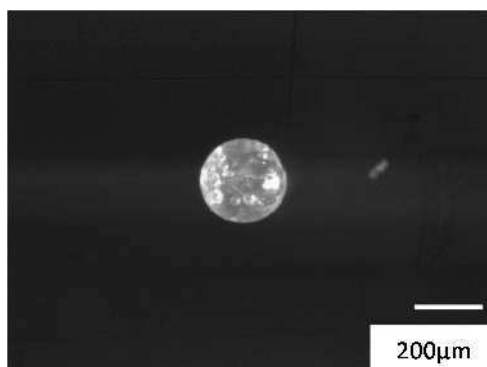


写真 1 一次的マイクロプラスチック
(PE:ポリエチレン)

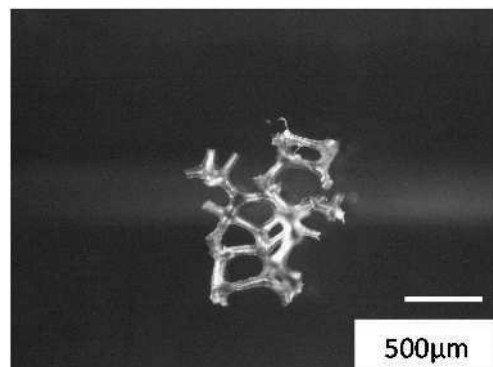


写真 2 二次的マイクロプラスチック
(PU:ポリウレタン)

2. 世界におけるマイクロプラスチック研究

世界で初めてのマイクロプラスチックについての報告は2004年 Science 誌においてなされた[5]。それ以降、マイクロプラスチックの論文数は増え続けており[6]、2016年は年間約110本、2017年では年間約160本の論文が発表されており、増加傾向にある[7]。

海洋ごみ（いわゆる「海洋プラスチックごみ」や「漂着ごみ」も含む）による生物汚染は20年以上前に報告されており、1997年に177種の海洋生物によるプラスチック摂食が報告[8]されている。特に海鳥は報告事例が多く、採餌特性と消化管形状との関連付けといったことまで考察されている[9]。

海洋ごみに関する発表論文数も増加傾向にあり[10]、一般メディアでは、海洋ごみによる海洋生物や鳥類への影響が目立って報道され、それに付随してマイクロプラスチックの説明がなされることが多いが、海洋ごみの問題とマイクロプラスチックの問題は二次的マイクロプラスチックの発生という点では関連はあるが、分けて考えるべきであると考え。なぜなら、海洋ごみの問題は比較的大きな（5mm超）プラスチックバッグやペットボトル等のプラスチックごみが海洋生物等の消化管等に滞留し、物理・生理学的影響で死に至らしめるもので、痛ましく深刻な問題ではあるが、5mm以下のマイクロプラスチックの問題は POPs を吸着し、生物網を通じて人間に影響がある可能性があるという点で本質的に異なるからである。

また、2019年2月現在、世界的なコーヒーチェーンやファーストフードチェーンにおいて、プラスチック製ストロー提供の廃止がなされつつあるが、海洋への流出プラスチック量に比べるとわずかであるという指摘がなされている[11]。そもそもプラスチック製ストローに注目が集まったのはとあるウミガメの鼻にプラスチック製ストローが詰まっております、それを取り除く映像が SNS を通じて広まり、テレビニュース等で報道されたところが大きい。こういった事例はセンセーショナルな映像とともに一時的な盛り上がりを見せるが、問題を矮小化させる（今回はプラスチック製ストローのみがターゲット）ことになりかねず、行政側の組織としてはそういった一時的なブームに踊らされることなく、冷静に科学的見地に立った理解・認識が必要である。

マイクロプラスチックによる生物への影響は不明な部分が多いが、マイクロプラスチックの二枚貝やカニといった低次捕食者への蓄積が室内実験で明らかにされている[12, 13]。さらに、自然環境中の二枚貝でも検出されており[14, 15]、市場で購入された魚貝類からの検出事例も報告[16]されている。しかしながら、生物体内から見つかったマイクロプラスチックから POPs が消化管を通じて組織に移行し、いわゆる「毒化」しているといった確固たる証拠は見つかっていないのが現状であり、また、移行するとしたとしても、そのメカニズムもわかっていない。つまり、現在のマイクロプラスチックによる生物影響に関する研究は、将来海洋中のマイクロプラスチック濃度が上昇した際に起こりうる可能性を前提とした研究が主であり、仮定を前提とした研究にとどまっているのが現状である。この点、研究者にとってはもどかしいところである。

3. 日本におけるマイクロプラスチック研究

日本におけるマイクロプラスチック研究の第一人者は東京農工大学の高田秀重教授である。高田は2005年から海岸漂着レジンペレットを使った地球規模モニタリング（International Pellet Watch）を開始し、海洋汚染関係の国際学術雑誌への呼びかけ、HP（<http://www.pelletwatch.org/>）での呼びかけ、国際学会での講演、海外の研究者への依頼等により、世界の市民・研究者に海岸でレジンペレットを拾い、エメールで東京農工大学の研究室に送ってもらうことを呼びかけた。送られてきたレジンペレット中のPOPを分析し、全球的なPOP汚染マップを作成し、HPにアップし、モニタリング結果を公開している（図1[17]）。図中の縦棒はその地域で見つかったレジンペレット中のPCBs濃度（ $\Sigma 13\text{PCB-ng/g-pellet}$ ）である。統計的な処理はおこなっていないが、比較的先進諸国の濃度が高いことが見てとれる。

環境省は2014年度以降、日本の沖合海域における漂流・海底ごみ（マイクロプラスチックを含む）について調査を実施している。本調査は、2016年度まで、日本列島周辺の沖合海域を対象として、東京海洋大学および九州大学の協力を得て実施してきた。2017年度は、これまでの海域に加えて、日本南方海域も対象として調査海域を拡大するとともに、大学との連携体制も拡充し、東京海洋大学及び九州大学のほか、北海道大学、長崎大学及び鹿児島大学も加え計5大学の協力を得て調査を実施するとしている[18]。左記の調査の結果、日本近海のマイクロプラスチック濃度は他の海域よりも高いことがわかってきており、海流の関係もあって、日本近海はマイクロプラスチックの「ホットスポット」と呼ばれるようになった。

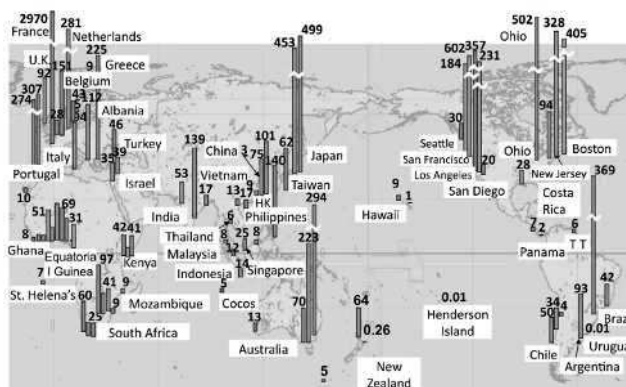


図1 International Pellet Watch の結果

[17]から転載

大阪湾や琵琶湖、東京湾といった内湾や陸水域での調査もおこなわれており[19]、それによると国内の魚類の大半がマイクロプラスチックに汚染されていることが示唆されている。また、大阪湾と比較して東京湾のカタクチイワシのマイクロプラスチック汚染が進んでいることも示唆された。また、魚から検出されたマイクロプラスチックの内訳はポリプロピレン（PP）が40.7%、ポリエチレン（PE）が35.0%、その他約24%であり、PPとPEの割合は琵琶湖と大阪湾の表層水中のマイクロプラスチックの割合とほぼ同程度であった。さらに、ろ過摂食魚類とろ過摂食以外の魚類の検出率は54.6%と21.0%であり、摂食方法の違いから検出率が異なることが明らかとなっている。

その他、近年日本でもマイクロプラスチックの研究は増えてきており、昨年（2018年）の第27回環境化学討論会では334題の発表件数のうち、マイクロプラスチックに関するものは9題あり、徐々に日本におけるマイクロプラスチックの研究者も増えてきている。

4. 大阪市立環境科学研究センターにおけるマイクロプラスチック研究

4.1 大阪市内河川中のマイクロプラスチック検出の試み

当研究センターでは2015年度からマイクロプラスチックの研究を開始した。2015年度は大阪市内河川中のマイクロプラスチック濃度を毎月1回おこなっている河川水中のSS測定用のろ紙を用いてモニタリングするという試みであったが、SS測定に供する河川水量が少ないせい、ろ紙上にマイクロプラスチックを検出することはできなかった。

4.2 大阪湾圏域の干潟におけるマイクロプラスチックの存在実態とその化学・生物学的影響

2015年度の反省から、マイクロプラスチックが検出されるであろうフィールドを選定することから検討を始めた。そこで、2016年1月に水産庁が「干潟・藻場ビジョン」を公表したことから、生物多様性の高い干潟に焦点を当て、マイクロプラスチックの存在実態および化学・生物学的影響を調査・研究することとなった。幸運にも2017年度まで外部研究資金を頂き、最終的に大阪湾圏域の干潟泥中のマイクロプラスチック濃度の把握（図2[20]）および干潟に生息する生物体内からのマイクロプラスチックの検出（写真3[21]）をおこなうことができた。

4.3 下水処理場に流入するマイクロプラスチック処理の最適化

2017年度から科学研究費補助金(科研費)を受け、3年間の予定で下水処理場におけるマイクロプラスチックの挙動(収支)および、その処理の最適化を探る研究をおこなっている。下水処理場におけるマイクロプラスチックの研究報告は、当時海外では数例であり、当時としては新規性のある研究であった。現在、下水・下水汚泥処理工程でのマイクロプラスチック濃度の把握に努めているところである。東京農工大学高田教授の研究グループの報告では、 $10\mu\text{m}$ 以上 5mm 以下のマイクロプラスチックが下水処理場から1日当たり10億個放流されているという報告[22]がある。 $10\mu\text{m}$ という、非常に微小なマイクロプラスチックまで検出できる「顕微FT-IR」を用いているため、非常に多くのマイクロプラスチックが検出されたと考えられる。

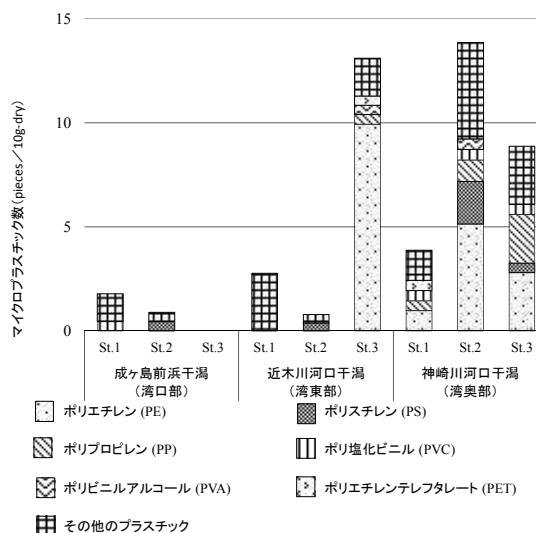


図2 大阪湾口、湾東、湾奥部の干潟泥中のマイクロプラスチック数

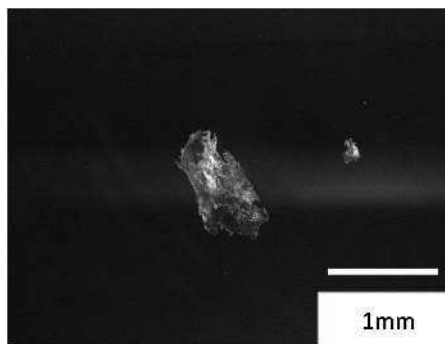
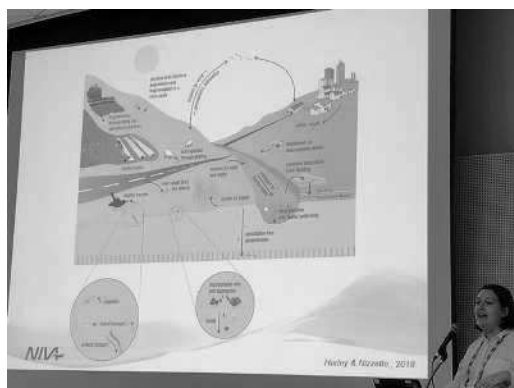


写真3 ヤマトシジミから検出されたマイクロプラスチック(PE)

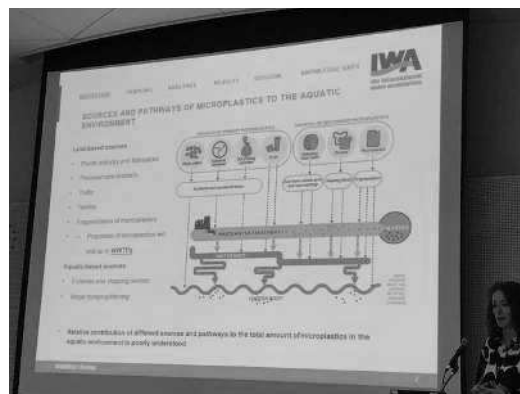
5. 世界最先端の研究事例

筆者は昨年（2018年）9月に東京で開催された IWA TOKYO 2018 にマイクロプラスチック関係のセッションに参加し、世界における最新のマイクロプラスチック研究についての知見を得た。下記にその一端を箇条書きにして示す。また、当時の内容を写真でご紹介する（写真4）。

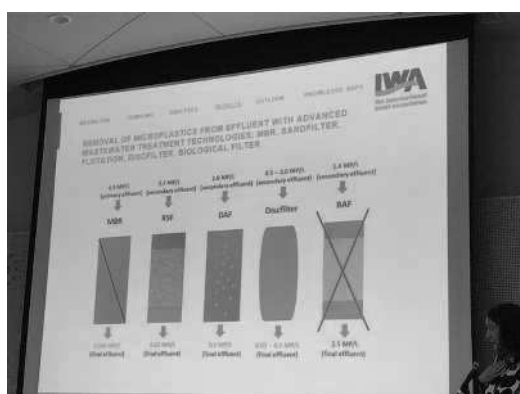
- ・マイクロプラスチックは大気中からも検出される。
- ・ヨーロッパにおける大気中のマイクロプラスチックの由来は農地に施肥された下水汚泥。
- ・よって農地や土壌におけるマイクロプラスチック汚染の研究もなされている。
- ・下水処理場におけるマイクロプラスチックの挙動の研究はフィンランドを含め10ヶ国以上の国で調査されており、非常に進んでいる。下水処理場でのマイクロプラスチックの除去率は99%前後という報告が多い。
- ・下水処理場でマイクロプラスチックを除去するには下水二次処理水の膜処理が有望であるが、それでも除去率は99.99%であり、1日当たり1億個流入した場合、100万個流出する計算である。



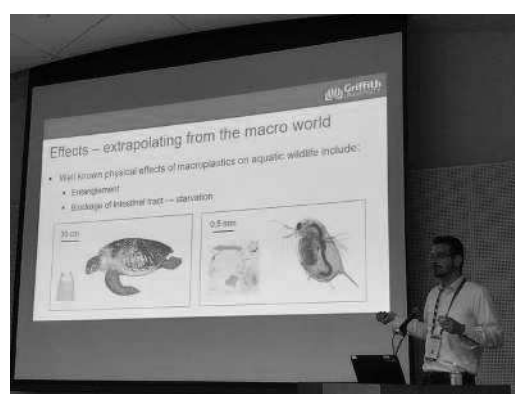
a. ノルウェーにおける環境中
マイクロプラスチックの挙動



b. フィンランド・ヘルシンキの下水処理場
におけるマイクロプラスチックの挙動



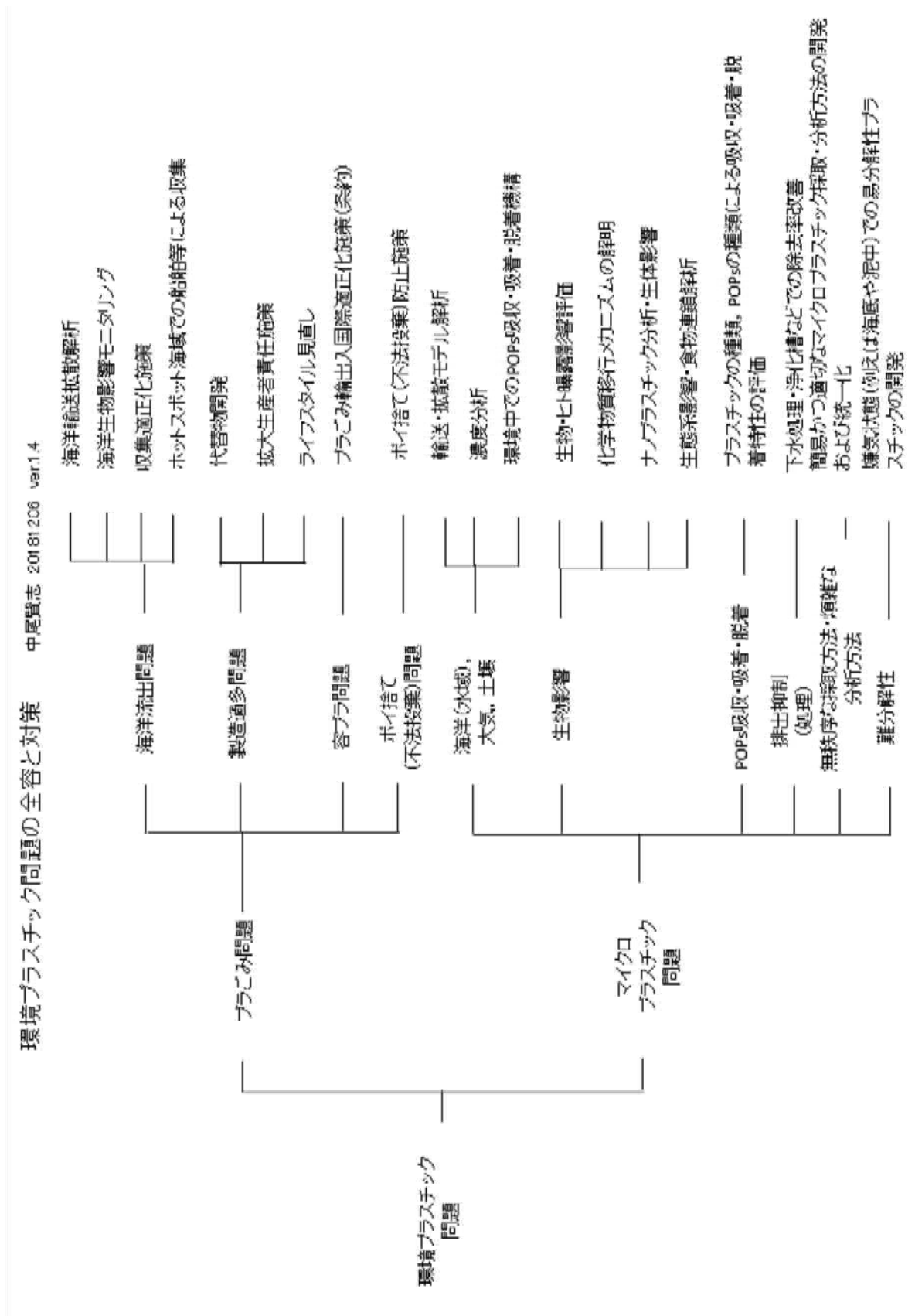
c. 下水二次処理水の処理方法における
マイクロプラスチック除去率の変化



d. マイクロプラスチックの相対的大きさ

写真 4 IWA TOKYO 2018 マイクロプラスチックセッションの様子

6. 環境プラスチック問題の全容と対策



7. まとめ

- ①マイクロプラスチックの生物，ヒトへの影響は必ずしも明らかになっていない
- ②一度環境中に流出してしまったマイクロプラスチックの回収は不可能
- ③何も対策を講じないと，海洋中のマイクロプラスチック濃度は高くなる一方
- ④POPs といった化学物質流出抑制も重要である
- ⑤偏った情報や規制が独り歩きし，十分な情報が市民に伝わっていない

<参考文献>

- [1] UNEP. Marine plastic debris and microplastics - Global lessons and research to inspire action and guide policy change. United Nations Environment Programme, Nairobi. ISBN No: 978-92-807-3580-6., 2016 <https://wedocs.unep.org/rest/bitstreams/11700/retrieve>
- [2] Ellen MacArthur Foundation. The New Plastics Economy: Rethinking the future of plastics. Ellen MacArthur Found. 120 (2016). doi:10.1103/Physrevb.74.035409
- [3] Isobe, Atsuhiko, Kaori Uchiyama-Matsumoto, Keiichi Uchida and Tadashi Tokai: Microplastics in the southern ocean, Mar. Pollut. Bull., 623 - 626 (2017) .
- [4] 日本経済新聞，深海魚の70%にプラ粒子 大西洋 人にも悪影響の可能性，2018年7月16日
- [5] Thompson, R. C. et al., Lost at Sea: Where Is All the Plastic?, Science, 304, 838 (2004).
- [6] Peter G. Ryan (2015) A Brief History of Marine Litter Research. In: Bergmann M, Gutow L, Klages M (eds) Marine anthropogenic litter. Springer International, Publishing, Cham, Heidelberg, New York, Dordrecht, London
- [7] Paul-Pont Ika, Tallec Kevin, Gonzalez Fernandez Carmen, Lambert Christophe, Vincent Dorothee, Mazurais David ORCID, Zambonino Jose-Luis ORCID, Brotons Guillaume, Lagarde Fabienne, Fabioux Caroline, Soudant Philippe, Huvet Arnaud ORCID: Constraints and Priorities for Conducting Experimental Exposures of Marine Organisms to Microplastics, Frontiers in Marine Science (2296-7745), Vol. 5 , N. 252 , P. 22p. (2018)
- [8] Laist D.W. (1997) Impacts of Marine Debris: Entanglement of Marine Life in Marine Debris Including a Comprehensive List of Species with Entanglement and Ingestion Records. In: Coe J.M., Rogers D.B. (eds) Marine Debris. Springer Series on Environmental Management. Springer, New York, NY
- [9] 綿貫 豊：海鳥によるプラスチック飲み込みの現状とその影響，海洋と生物，36 (6) 596～605 (2014)
- [10] Richard C. Thompson (2015) Microplastics in the Marine Environment: Sources, Consequences and Solutions. In: Bergmann M, Gutow L, Klages M (eds) Marine anthropogenic litter. Springer International Publishing, Cham, Heidelberg, New York, Dordrecht, London (2015).
- [11] The Japan Times on Sunday, Trendy bans on plastic straws are bunk, p.7, June 24 (2018).
- [12] Browne, M. A., Dissanayake, A., Galloway, T. S., Lowe, D. M. & Thompson, R. C. Ingested

- microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, *Mytilus edulis* (L.). *Environ. Sci. Technol.* 42, 5026–5031 (2008).
- [13] Watts, A. J. R. et al. Uptake and Retention of Microplastics by the Shore Crab *Carcinus maenas*. *Environ. Sci. Technol.* 48, 8823–8830 (2014).
- [14] Van Cauwenberghe, L. & Janssen, C. R. Microplastics in bivalves cultured for human consumption. *Environ. Pollut.* 193, 65–70 (2014).
- [15] Li, J., Yang, D., Li, L., Jabeen, K. & Shi, H. Microplastics in commercial bivalves from China. *Environ. Pollut.* 207, 190–195 (2015).
- [16] Rochman, C. M. et al. Anthropogenic debris in seafood: Plastic debris and fibers from textiles in fish and bivalves sold for human consumption. *Sci. Rep.* 5, 1–10 (2015).
- [17] 高田秀重, プラスチックの時代からの脱却を (2016) .
http://pelletwatch.jp/wp-content/uploads/2016/03/IPW_microplastic_Ver3.pdf
- [18] 九州大学広報室, 平成 29 年度沖合海域における漂流・海底ごみ実態調査について ～調査海域を拡大するとともに、大学との連携体制を拡充～, PRESS RELEASE (2017/08/08) (2017).
https://www.kyushu-u.ac.jp/f/31238/17_08_08.pdf
- [19] 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, 水環境学会誌, Vol.41, No.4, pp.107-113 (2018).

※本稿は2019年1月9日に開催された「環境科学研究センターとの環境情報交換会」のレジューメ「マイクロプラスチックとは何か？ 問題と対策を中心に」を加筆改変したものである。