

1. はじめに

琵琶湖岸のヨシ群落再生方法の研究を 1997 年 10 月から継続している。2016 年 5 月 29 日に南湖東岸の葉山川河口のヨシ群落で撮影した写真を**写真 1** に示す。ペットボトルやプラスチック容器、おもちゃのボール、サンダル、発泡スチロール、ビニール袋などさまざまなプラスチックごみが漂着している。ヨシ群落の機能のひとつに漂流物の沈降促進効果がある。浮遊性物質などがヨシ茎にぶつかり、沈降が促進されることで、水中の懸濁物質が除去される。1997 年 10 月、ちょうど大学 4 回生時に本フィールドにヨシを植栽した。写真のごみはその後約 20 年間に蓄積していったものである。

雨天時に多くのプラスチックごみが川から流入し、波に流されて湖岸に漂着する様子を見てきた。琵琶湖への漂流ゴミの多くは河川を経由して流されてきたもの、もしくは湖岸でのレジャーの中で排出されてきたものであると考えている。ヨシによる水質浄化効果が期待されるといいながら、今までは水の中に溶け込んだ化学物質に注目することが多かった。窒素や栄養塩などの挙動、茎に付着したバイオフィーム等による化学物質の吸着効果や生物分解などの研究事例がある中で、例えば漂流したペットボトルの **Fate** を追うことはできていなかった。写真の中のプラスチックはいつどこから来て、どこにいくのだろうか。太陽光や温度変化、生物分解などにより微細化したプラスチック片は、どの程度、水環境中に分布しているのか。これらの疑問を解決するため、琵琶湖の表層水と底泥、下流の大阪湾の表層水と底泥中のマイクロプラスチックの分布を調査することとした。

2. 琵琶湖と大阪湾におけるマイクロプラスチック汚染の現況

2.1. 調査および分析の方法

琵琶湖および大阪湾における調査地点を**図 1** に示す。2015 年 10 月 25 日～12 月 6 日に、琵琶湖において 6 地点の表層水、21 地点の底泥、大阪湾において 5 地点の表層水、8 地点の底泥を採取した。大阪湾の表層水中の調査の様子を**図 2** に示す。表層水中のマイクロプラスチックの採取方法としては、目開き 315 μm のプランクトンネットを使用した。デジタルろ水計を取り付け、ネットの口径部の約半分を海面下に保つように支えて採取し、その後ろ水量を計算した。ろ水量は、各地点あたり、琵琶湖で 10～27 m^3 、大阪湾で 34～50 m^3 であった。プランクトンネットを引き上げ後、内側に付着した試料を超純水で洗い流し、冷蔵保存し、大学に持ち帰った。底泥はエックマンバージ採泥器で採取後、金属製のバットに移し、ハイベッセル容器に試料を移して冷蔵保存した。持ち帰った試料は、夾雑物を除去した後、有機物分解、洗浄・乾燥、比重による分離、遠心分離、粒形別に分離した後、専用カメラ付き顕微鏡を用いてデジタル画像を撮影し、長軸径、短軸径、投影面積を計測

した。その後、フーリエ変換赤外分光光度計で波数別の相対吸光度を測定し、成分同定を行った。

2.2. 琵琶湖・大阪湾のマイクロプラスチック

検出されたマイクロプラスチックのいくつかを**写真 2**に示す。(a)は琵琶湖北湖東岸丁野木の表層水中のポリプロピレンであり、釣り糸の切れたようなものと想像された。(b)は琵琶湖南湖西岸山下湾の底泥中のポリビニルステレートであり、少し分解が進みだしたように読み取れた。(c)は大阪湾に注ぐ神崎川河口表層水中のポリエチレンであり、表面に多くの孔が観察された。(d)は同所でのポリプロピレンであり、鋭利な形をしていた。(e)は同所の底泥中のポリヘキサデシルアクリレートであり、分解が進んだ様子が見て取れた。(f)は大和川河口部底泥中のポリエチレンであり、ラップフィルムなどが腐食していったものと推測した。このように、一言でマイクロプラスチックと言っても、環境中では、多様な形状、状態、成分のものが存在することが示唆された。

2.3. 表層水中の漂流密度と粒径分布

琵琶湖での2015年の表層水中のマイクロプラスチック漂流密度は0.11~1.26 pieces m⁻³であった。同様の調査を2016年に27地点で実施した際の漂流密度は0.05~6.53 pieces m⁻³であった。2015年と2016年の琵琶湖表層水33地点合計1,066 m³中から1,319 piecesのマイクロプラスチックを検出した。平均漂流密度は1.24 pieces m⁻³であり、瀬戸内海の漂流密度の報告結果¹⁾と比較すると、分析方法の違いなども少しあるため厳密には言えないが、琵琶湖の方が3.1倍高い結果となった。

大阪湾での2015年の表層水中のマイクロプラスチック漂流密度は0.08~3.98 pieces m⁻³であった。大阪湾表層水5地点合計198 m³中から182 piecesのマイクロプラスチックを検出した。平均漂流密度は0.92 pieces m⁻³であり、瀬戸内海の漂流密度の報告結果¹⁾と比較すると、こちらも分析方法の違いなども少しあるため厳密には言えないが、大阪湾の方が2.3倍高い結果となった。

平均粒径は琵琶湖で1,597 μm (標準偏差1,219 μm)、大阪湾では1,622 μm (標準偏差838 μm)であり、粒径分布に有意な差はなかった。

2.4. 底質中の堆積密度と粒径分布

琵琶湖底質の乾燥重量10 gあたりの堆積密度は0~27 piecesであり、南湖東岸の葉山川河口が最大であり、次いで、南湖西岸由美浜の16 pieces、北湖東岸牧の15 piecesとなった。大阪湾底質の乾燥重量10 gあたりの堆積密度は神崎川河口で19 pieces、武庫川河口で15 pieces、淀川河口で13 pieces、大和川河口で11 piecesであり、沖合部は1 pieceまたは2 piecesであった。河口部に多く存在したことから、供給源のひとつが河川であると推察された。平均粒径は琵琶湖で1,824 μm (標準偏差1,673 μm)、大阪湾では1,004 μm (標準偏差559 μm)であり、大阪湾の底質中のマイクロプラスチックが有意に小さかった (*t*検定, *p* < 0.001)。大阪湾の底泥中のマイクロプラスチックの粒径の方が小さい傾向が示されたことから、海水と淡水において分解特性に差がある可能性が示唆された。

2.5. 成分

琵琶湖表層水からは 4 種類のプラスチックが検出された。ポリプロピレンが最も多く、次いでポリエチレン，ポリスチレン，ポリアクリル酸アンモニウムであった。大阪湾の表層水からは 7 種類が検出された。ポリエチレンが最も多く，次いでポリスチレン，ポリプロピレンの上位 3 種で全体の 97%を占めた。その他はポリヘキサデシルメタクリレート，ポリビニルステアレート，ポリ塩化ビニリデン，ポリビニルアセテートが検出された。

琵琶湖の底質からは 19 種類のプラスチックが検出された。ポリエチレンが最も多く，次いでポリヘキサデシルアクリレート，ポリプロピレン，ポリ塩化ビニリデンが多く，上位 4 種で全体の 69%を占めた。大阪湾の底質からは 12 種類のプラスチックが検出され，ポリエチレンが最も多く，次いでポリヘキサデシルメタクリレートが検出された。全体的に底質から多種類のマイクロプラスチックが検出される傾向にあった。

3. 内湾・陸水の生物からのマイクロプラスチック

内湾・陸水における魚類調査を，東京湾および女川湾では 2016 年 10 月 8 日に，大阪湾では 10 月 18 日および 27 日に，敦賀湾では 11 月 15 日，五ヶ所湾・英虞湾では 12 月 9 日に，琵琶湖では 12 月 19 日に行った。

100 μm 以上の大きさのマイクロプラスチックを調査した結果，日本内湾および琵琶湖における魚類 197 匹中 74 匹の消化管から 140 個のマイクロプラスチックが検出され，検出率は 37.6%であった。6 地点中すべてから検出され，7 魚種中サッパを除く 6 種類の魚種からマイクロプラスチックが検出された。最も多く検出されたのは東京湾のカタクチイワシで，検出率は 79.4%であった。摂食方法別では，ろ過摂食魚類 97 匹中 53 匹から 112 個のマイクロプラスチックが検出され，平均値は 1.15 個/匹であった。それ以外の魚類 100 匹中 21 匹から 28 個のマイクロプラスチックが検出され，平均値は 0.28 個/匹であった。 t 検定の結果，有意な差がみられた ($p < 0.001$)。摂食方法の違いが魚の消化管内におけるマイクロプラスチックの存在に影響していると推察された。

世界の各水域における環境中の水生生物からのマイクロプラスチックの報告例²⁻¹⁷⁾を調べると，ヨーロッパから 12 報，アメリカから 2 報，アジアからは日本 1 報，インド 1 報を確認した。計 48 種中，魚が 34 種，貝が 4 種，カニ，エビ，昆虫などの節足動物が 10 種であった。内湾では，スペインのガディス湾，東京湾などでの報告例があり，淡水域では北アメリカのシャンプレーン湖のオオクチバス，ブルーギル，カワホトトギスガイ，ポーランドのガルドノ湖，ウェブスコ湖，ロシアのヴィスワ湖のチュウゴクモクズガニからの検出例が報告されている。河川ではイギリスのクライド川のヨーロッパアカゼエビ 120 匹のうち，83%からマイクロプラスチックが検出されたと報告されている。

4. 今後の展望

近年，下水処理場におけるマイクロプラスチックの挙動に関する研究事例が増えている。

スコットランドでは目開き 65 μm のスチールネットで採取し分析した結果、98.4%のマイクロプラスチックが除去された¹⁸⁾と報告されている。一方で、カリフォルニアの例では、125 μm 以上を対象とした場合、99%以上除去された¹⁹⁾との報告例もある。すなわち、調査・分析対象となるマイクロプラスチックの大きさによって、除去率が異なる。調査結果を理解するには、調査方法や測定対象のサイズなどの情報をいっしょに理解することが重要である。琵琶湖および大阪湾での調査方法、結果等の詳細は現在、論文として整理しているところであり、本稿では概要を中心に紹介させていただいた。調査、実験には京都大学大学院の王夢澤氏、牛島大志氏、雪岡聖氏、鍋谷佳希氏、垣田正樹氏などの協力を得たことを記し、謝意を表す。

参考文献

- 1) Isobe, A., Uchida, K., Tokai, T., Iwasalo, S., 2015. East Asian seas: a hot spot of pelagic microplastics. *Mar. Pollut. Bull* 101,618-623.
- 2) Foekema, E.M., De Gruijter, C., Mergia, M.T, van Franeker, J.A., Murk, A.J., Koelmans, A.A., 2013. Plastic in north sea fish. *Environmental science & technology* 47 (15) , 8818-8824.
- 3) Lusher, A.L., Mchugh, M., Thompson, R.C., 2013. Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. *Marine pollution bulletin* 67 (1) , 94-99.
- 4) Kripa, V., Nair, P.G, Dhanya, A.M., Pravitha, V.P., Abhilash, K.S., Mohammed, A.A, Vijayan, D., Vishnu, P.G., Mohan, G., Anilkumar, P.S., Khambadkar, L.R., Prema, D., 2014. Microplastics in the gut of anchovies caught from the mud bank area of Alappuzha, Kerala. *Marine Fisheries Information Service; Technical and Extension Series* 219, 27-28.
- 5) Boerger, C.M., 2010, Plastic ingestion by planktivorous fishes in the North Pacific Central Gyre. *Marine pollution bulletin* 60 (12) , 2275-2278.
- 6) Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Goodhead, R., Moger, J., Tamara, S.G., 2013. Microplastic ingestion by zooplankton. *Environmental science & technology* 47 (12) ,6646-6655.
- 7) Frias, J.P.G.L., Otero, V., Sobral, P., 2014. Evidence of microplastics in samples of zooplankton from Portuguese coastal waters. *Marine environmental research* 95, 89-95.
- 8) Desforges, J.-P.W., Galbraith, M., Ross, P.S., 2015. Ingestion of microplastics by zooplankton in the Northeast Pacific Ocean. *Archives of environmental contamination and toxicology* 69 (3) , 320-330.
- 9) Murray, F., Cowie, P.R., 2011. Plastic contamination in the decapod crustacean *Nephrops norvegicus* (Linnaeus, 1758) .*Marine pollution bulletin* 62 (6) , 1207-1217.

- 10) Devriese, L., Vandendriessche, S., Theetaert, H., Vandermeersch, G., Kristian, H.K., Johan, R.J., 2014. Occurrence of synthetic fibres in brown shrimp on the Belgian part of the North Sea, Platform presentation, International workshop on fate and impact of microplastics in marine ecosystems (MICRO2014) . Plouzane (France) 13-15.
- 11) De Witte, B., Devriese, L., Bekaert, K., Hoffman, S., Vandermeersch, G., Cooreman, K., Robbens, J., 2014. Quality assessment of the blue mussel (*Mytilus edulis*) : Comparison between commercial and wild types. *Marine pollution bulletin* 85 (1) , 146-155.
- 12) van Cauwenberghe, J., Colin, R., 2014. Microplastics in bivalves cultured for human consumption. *Environmental Pollution* 193, 65-70.
- 13) Tanaka, K., Takada, H., 2016. Microplastic fragments and microbeads in digestive tracts of planktivorous fish from urban coastal waters. *Scientific Reports* 6 (34351) , DOI 10.1038/srep34351.
- 14) Hammer, C., Vanbroeklin, H., 2016. Microplastic Bioaccumulation in invertebrates, fish, and cormorants in Lake Champlain.
- 15) Bellas, J., Martínez-Armental, J., Martínez-Cámara, A., Victoria, B., Martínez-Gómez, C., 2016. Ingestion of microplastics by demersal fish from the Spanish Atlantic and Mediterranean coasts. *Marine Pollution Bulletin* 109 (1) , 55-60.
- 16) Nadal, M.A., Alomar, C., Deudero, S., 2016. High levels of microplastic ingestion by the semipelagic fish bogue *Boops boops* around the Balearic Islands. *Environmental Pollution* 214, 517-523.
- 17) Wójcik-Fudalewska, D., Normant-Saremba, M., Anastácio, P., 2016. Occurrence of plastic debris in the stomach of the invasive crab *Eriocheir sinensis*. *Marine Pollution Bulletin* 113 (1-2) , 306-311.
- 18) Estahbanati, S., Fahrenfeld, N.L., 2016. Influence of wastewater treatment plant discharges on microplastic concentrations in surface water. *Chemosphere*, DOI 10.1016/j.chemosphere.2016.07.083.
- 19) Carr, S.A., Liu, J., Tesoro, A.G., 2010. Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants. *Water research* 44, 174-182, DOI 10.1016/j.watres.2010.01.002.



図2 大阪湾の表層水中のマイクロプラスチックの採取の様子

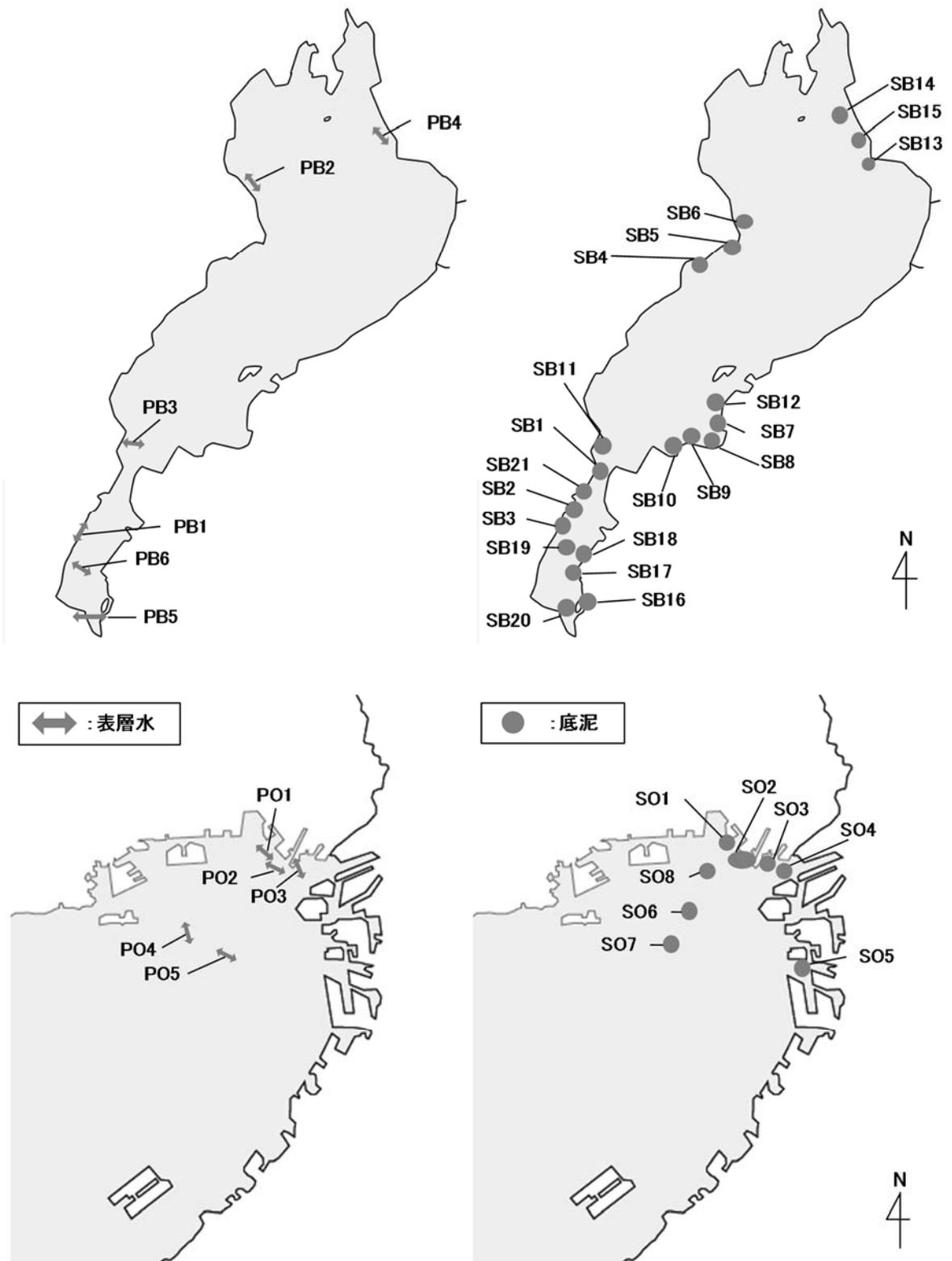




写真1 琵琶湖岸ヨシ群落内に堆積したプラスチック（2016年5月29日）

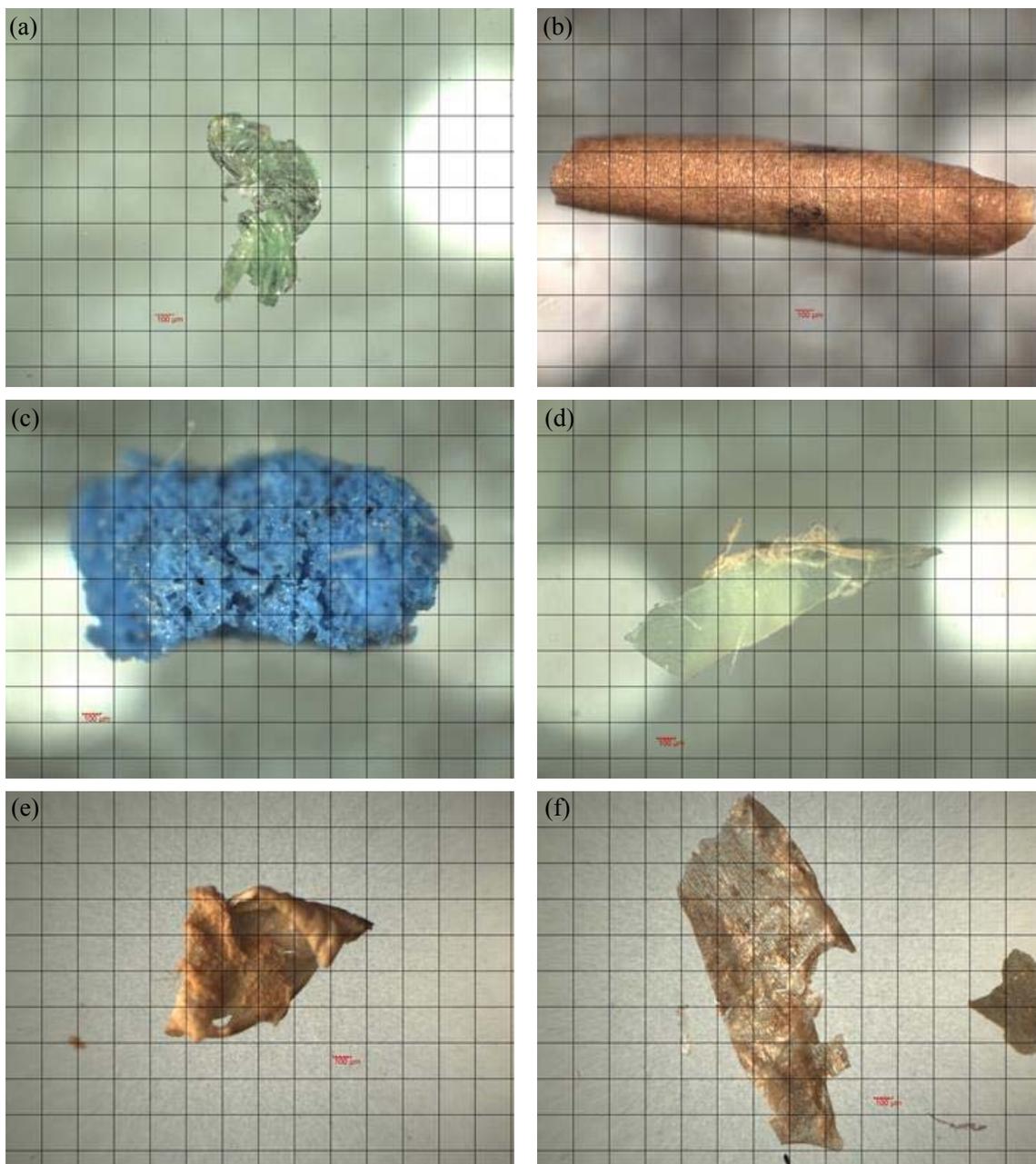


写真2 琵琶湖・大阪湾で検出されたマイクロプラスチック

((a)は琵琶湖北湖東岸丁野木の表層水中のポリプロピレン。(b)は琵琶湖南湖西岸山下湾の底泥中のポリビニルステレート。(c)は大阪湾に注ぐ神崎川河口表層水中のポリエチレン。(d)は同所でのポリプロピレン。(e)は同所の底泥中のポリヘキサデシルアクリレート。(f)は大和川河口部底泥中のポリエチレン。) いずれの写真も格子の一边は 180 μm