

マイクロプラスチック

海洋プラスチックごみと マイクロプラスチック（下）

マイクロプラスチック（MP）が海洋に広く分布し、日本近海には密度が特に高いホットスポットが存在する。100種以上の海洋生物がMPを摂食（誤飲）していて、食用魚介類にもMPが含まれている。MPは海水中のPCBsなどの汚染物質を吸着するので、化学的影響も懸念される。MPの発生を軽減するものとして期待される生分解性プラスチックについてその有効性を議論した。

2017年12月



株式会社 旭リサーチセンター

シニアリサーチャー 府川 伊三郎

まとめ

- ◆魚介類やプランクトンがサイズの小さいマイクロプラスチック（MP）を摂食（誤飲）するので、海洋生物への影響が懸念される。また、MPはサイズの的にプランクトンとの分離が難しいので、経済的にMPを回収する方法がない。（1～6頁）
- ◆漂流MPの海洋密度が世界的に測定されている。東北地方北部（日本海側と太平洋側）や南九州の沖合に、世界的にも密度の高いホットスポットが観測された。（6～11頁）
- ◆100種類以上の海洋生物（鳥類、魚介類、プランクトンなど）がMPを取り込んでいることが報告されている。特に、海鳥はMPの摂食比率が高く、摂食個数も多い。食用の魚類もかなりの比率でMPを摂食しているが、摂食個数は1～2個/個体である。貝類はろ過摂食するのでファイバーを中心とするMPを多く含んでいる。（12～17頁）
- ◆実験室で、5cm以下の魚、二枚貝、ゴカイ、プランクトンに高密度のMPを暴露（摂食）させると、海洋生物の生体に影響が出る場合がある。ただし、MP密度がはるかに低い海洋で同じことが起こるかどうかはわからない。

一方、海洋生物の消化管に取り込まれたナノサイズのプラスチック粒子は細胞膜を通過することが実験室で明らかになった。詳細は未解明であるが、海洋生物に影響を与える可能性がある。（17～20頁）
- ◆東京湾、大阪湾などで採取されるMPは、POPs（難分解性有機汚染物質：PCBsや難燃剤のPBDEsなど）を含有しているので、MPを介した魚介類のPOPs汚染が懸念される。

魚のPCBs汚染の場合、MP経路以外に2つの汚染経路（直接摂食と食物連鎖）があり、MP経路がほかの経路に比べ相対的にどれくらい重要かはよくわかっていない。また、MPに同伴するPOPsが生物濃縮する証拠はない。

一方、MPは微生物を表面に付着させて海洋で浮遊するので、ベクター（微生物媒介体）として働く可能性がある。（20～29頁）
- ◆海洋中で二酸化炭素と水に分解する生分解性プラスチックは、使い捨ての包装材料用途にはコスト的に使用が難しく、漁具用途に適している。（30～36頁）
- ◆同じ地球環境問題である地球温暖化問題と海洋プラスチック問題を比較した。次頁に詳細な比較表を示す。（37～40頁）

（注）MP：マイクロプラスチック

表10 海洋プラスチック問題と地球温暖化問題の比較

	海洋プラスチック問題 (海洋プラスチックごみと マイクロプラスチック (MP))	地球温暖化問題 (CO ₂ などの温室効果ガスによる 地球温暖化)
問題の性格	地球環境問題 地域問題でもある (各海洋での取組み)	地球環境問題
問題に対する 社会の認識度	認識度低い。特にマイクロプラスチック についてはよく知られていない	認識度高い
発生源	①陸上由来のプラスチック廃棄物 (～80%) ②海洋由来のプラスチック廃棄物 (～20%) * プラスチック廃棄物が紫外線と物理的な力により細片化し、マイクロプラスチックを生成	①化石燃料の燃焼 92%以上 自動車・航空機、冷暖房、発電 ②石油化学原料 8%以下 * ①と②がCO ₂ の発生源となる
発生原因	①管理不十分や不法投棄 (認識・モラル) ②固形廃棄物や廃水の不十分な処理設備 ③廃棄物の高い回収・処理コスト	①エネルギー使用: 生産・輸送などの 経済活動、オフィス活動、日常生活 ②石油化学原料
発生量の 傾向	①世界的にプラスチック消費量増加と ともに、プラスチックごみは増加 今後も成り行きでは増加の見込み ②毎年のごみ発生量だけでなく、 ごみの蓄積量が問題になる	①世界的にエネルギー使用量増加と ともに、CO ₂ 発生量は増加 今後も成り行きでは増加の見込み ②毎年のCO ₂ 発生量だけでなく、 CO ₂ の蓄積量が問題になる
影響	①海岸の美観を損なう ②海洋生物の生態系と漁業への影響 ③PCBsなどに汚染されたマイクロプラスチックを 魚介類が摂食 (誤飲) することの影響と 食物連鎖による人間の健康への影響	①地球温暖化→ 厳しい気候変動 ↓ 自然災害、生態系への影響 ↓ 人々の生活と農業・漁業などへの影響
原因物質 (MPとCO ₂) の定量	①世界共通の測定法なし (共通化取組み中) ②地域的密度分布や短時間での密度変動あり (世界的に高密度のホットスポットあり) ③定量的把握ができていない ④シミュレーションが進んでいない	①温度、CO ₂ 濃度の測定法は確立済み ②CO ₂ 濃度の地域分布、短時間での 変動はない ③定量的把握がされている ④シミュレーションが進んでいる
対策	①認識を高め、モラルアップすることにより プラスチック廃棄物の発生源を断つ ・ マイクロビーズの化粧品用途使用禁止 ・ プラスチック廃棄物の処理体制の確立 ・ 生分解性プラスチック製漁具の開発 ②河川、沿岸、海洋のプラスチックごみの除去 * 海洋中のマイクロプラスチックの回収は困難	①省エネ、省資源の推進と 再生可能なエネルギー・資源への転換 (バイオマス、太陽電池、風力) ②CCS: 火力発電等で発生する高濃度の CO ₂ の回収・貯留 (開発中) * 大気中の低濃度CO ₂ の回収は困難
企業の取組み	少ない	上記対策に産業界、企業が主体的な取組み
国内の取組み	①環境省を中心とする関連省庁、 地方自治体、NGO、ボランティア団体	①環境省を中心とする関連省庁、 産業界、企業
国際的取組み	①a. 国連 (UNEP) が積極的取組 b. 2015年G7エルマウサミットの首脳宣言 c. 2016年1月のダボス会議で報告書 ②GESAMP (海洋保護科学専門家グループ)	①COP21においてパリ協定 (2016年12月) 採択 (産業革命以来の温度上昇を2℃ 以下に抑える) ②IPPC (気候変動に関する政府間パネル)

注: 黄色地は顕著な相違点。

出典: 各種資料より旭リサーチセンターが作成。

目 次

はじめに	1
用語・略語集	3
1 マイクロプラスチック	5
1.1 マイクロプラスチックとサイズ	5
1.2 漂流マイクロプラスチックの海洋密度	6
1.3 自然界における海洋生物のマイクロプラスチック摂食状況	12
1.4 海洋生物のマイクロプラスチック摂食による影響（実験室データ）	17
1.5 ナノプラスチック	20
1.6 マイクロプラスチックの POPs 汚染	20
1.7 POPs 含有マイクロプラスチックの魚介類への影響	26
1.8 (POPs 含有)マイクロプラスチックの人への影響	28
1.9 海洋プラスチックのベクター（微生物媒介体）としての働き	29
2 生分解性プラスチックと海洋プラスチックごみ問題	30
2.1 陸上用の生分解性プラスチック	30
2.2 期待される海水中で生分解するプラスチック	31
2.3 生分解性プラスチックはプラスチック海洋汚染の軽減に有効か	34
3 海洋プラスチック問題と地球温暖化問題の比較	37
おわりに	41
参考文献	44

はじめに

プラスチック袋（レジ袋など）、ペットボトル、食品包装用トレイ・容器、発泡ポリスチレンなどが、管理不十分や不法投棄により、川を通じて海へ流れ込みあるいは直接海に捨てられる。これら海洋プラスチックごみ（マクロプラスチック）の多くは海水より密度が低いため海洋で浮遊し、一部は海岸に打ち上げられ（漂着し）、一部は海流に乗って大洋を漂流して拡散する。そして、海洋プラスチックごみは国際的な問題に発展した。

このマクロプラスチックは日光の紫外線と波などの物理的な力により崩壊・細片化して、マイクロプラスチック（通常、直径 5 mm 以下のものと定義される）を生成する。

鳥類、魚介類、プランクトンが、各種サイズのマイクロプラスチックを摂食（誤飲）する。魚の消化管からはマイクロプラスチックが検出される（図 1）。さらに魚介類が汚染物質（PCBs、PBDEs など）を含有するマイクロプラスチックを摂食することによる化学的影響や、魚介類を食べる人間の健康への影響が懸念されるようになった。

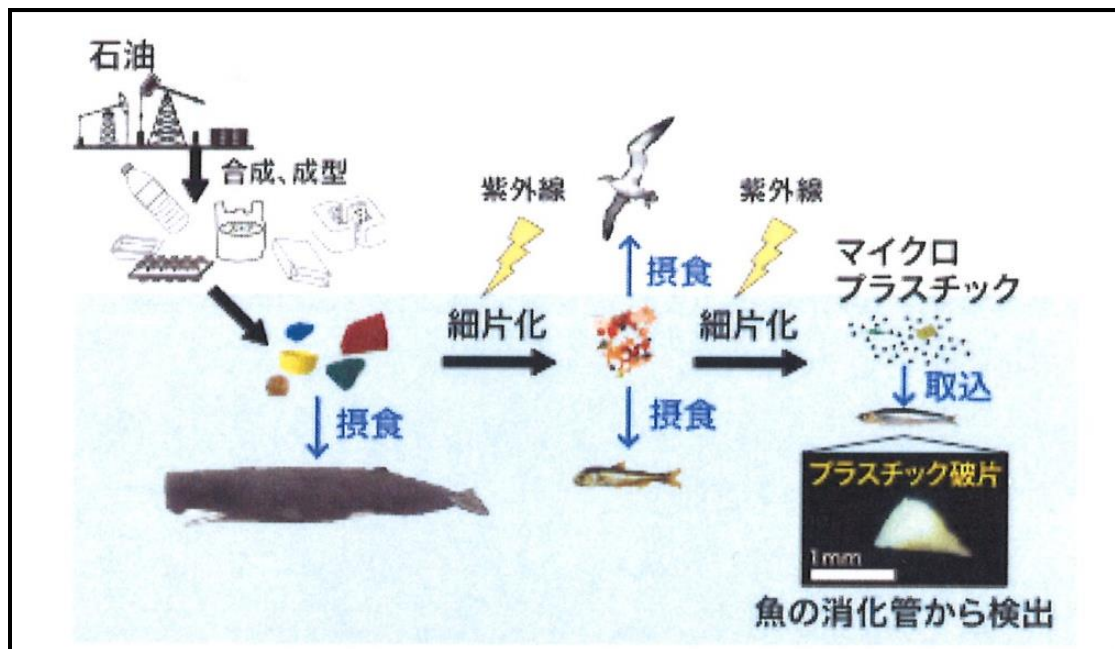


図 1 マイクロプラスチックの生成とその影響

出典：高田秀重東京農工大教授資料（参考文献(4)）。

海のプラスチックごみのほとんどは、海水中で浮遊するポリエチレン、ポリプロピレン、（発泡）ポリスチレンと、海水中で沈むポリ塩化ビニル、ポリエステル、ポリアミド（ナイロン）の6種である。このうち、海水中で浮遊するプラスチックの比率が高い。浮遊するポリエチレンなどは前記のように、紫外線と物理的な力で崩壊・細片化する。しかし、崩壊・細片化が進んだ後で、最終的にポリエチレンがどうなるのかはわかっていない。

一方、海に沈んだポリ塩化ビニル、ポリエステル、ポリアミドがどうなるかについてはほとんど知見がない。海底は紫外線が届かないので、浮遊プラスチックのような崩壊・細片化は起こらない。大雨や洪水で川から流れ込む土砂に混じって沈積物となり海底に堆積しているのであろうか。

毎年、海洋に排出されるプラスチックごみが蓄積し、またプラスチックごみからマイクロプラスチックが生成されるので、マイクロプラスチックも蓄積する。2050年には、海のプラスチックの重量と魚の重量が同じになり、食用の魚介類のほとんどがマイクロプラスチックを含んでいると予想されている。

本リポートの第1章では、マイクロプラスチックの海洋密度、海洋生物によるマイクロプラスチックの摂食（誤飲）状況とその影響、マイクロプラスチックによるPOPs（残留性有機汚染物質）の吸着とそれによる海洋生物や人への影響についてまとめた。

第2章では、海洋プラスチックごみの軽減に有効と期待される生分解性プラスチックについて議論した。

第3章では、まとめとして、同じ地球環境問題である地球温暖化問題と海洋プラスチック問題の比較評価を行った。

次頁に、本リポートで使用する用語・略語・単位をまとめた。

用語・略語集

- (1) *海洋プラスチックごみ（本リポートではマクロプラスチックを同義語で使用）：
プラスチックの各種成形品（レジ袋、発泡シート、ボトル、容器など）のごみ。
マクロプラスチックはマイクロプラスチックと区別しやすいように下線を付けた。
- *マイクロプラスチック（MP と略することがある）：通常、直径 5 mm 以下のプラスチックをマイクロプラスチックと呼ぶ。
- *一次的マイクロプラスチック：海洋に排出されたペレットやビーズ。
- *二次的マイクロプラスチック：マクロプラスチックが紫外線と波動などの力により崩壊・細片化してできたマイクロプラスチック。
- *ナノプラスチック：マイクロプラスチックのうちのナノオーダーのもの。
- (2) *マイクロビーズ：化粧品のスクラブ剤(研磨剤)などに使用される 1mm 以下の粒子。
ポリエチレン製の球状のことが多い。
- (3) *プラスチックの名称：
- | | |
|---------------------|-----------------|
| PE（ポリエチレン） | HDPE（高密度ポリエチレン） |
| PP（ポリプロピレン） | PS（ポリスチレン） |
| EPS（発泡ポリスチレン） | PVC（ポリ塩化ビニル） |
| PET（ポリエステル） | PA（ポリアミド：ナイロン） |
| PHA（ポリヒドロキシアルカノエート） | PLA（ポリ乳酸） |
- (4) *生分解性プラスチック：微生物の力を借りて、最終的に二酸化炭素と水に分解するプラスチック。
- (5) *ALDFG (Abandoned Lost or otherwise Discarded Fishing Gear)：やむを得ず放棄されたもしくは投棄された漁具。
- *ゴーストフィッシング：ALDFG により魚類や甲殻類をトラップしてしまうこと。
- (6) *POPs (Persistent Organic Pollutants)：残留性有機汚染物質
- PCBs（ポリ塩化ビフェニル：電気絶縁油）
- DDTs（ジクロロジフェニルトリクロルエタン：殺虫剤）

HCHs (ヘキサクロロシクロヘキサン：殺虫剤)

PBDEs (ポリ臭化ジフェニルエーテル：プラスチック用難燃剤)

(7) * UNEP (United Nations Environment Programme)：国連環境計画。

* GESAMP (Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection)：海洋環境保護の科学的事項に関する専門家合同グループ。その中のワーキンググループ 40 はマイクロプラスチック問題を担当。

(8) * 単位：

$$1\text{g}=1,000\text{mg}\ (10^3\text{mg})=10^6\ \mu\text{g}=10^9\text{ng}$$

$$1\ \mu\text{g/g}=1\text{ppm}、1,000\text{ng/g}=1\text{ppm}\quad (\text{例：マイクロプラスチック } 1\ \text{g に} \\ \text{PCBs が } 1\ \mu\text{g} \text{ 含まれる場合})$$

$$1\text{m}=1,000\ \text{mm}\ (10^3\text{mm})=10^6\ \mu\text{m}=10^9\text{nm}$$

(9) * na：表中の na はデータがないこと、あるいはデータを入手できなかったことを意味する。

1 マイクロプラスチック

1.1 マイクロプラスチックとサイズ

マイクロプラスチックの最大の問題は、サイズが小さいのでプランクトンや魚介類が摂食（誤飲）してしまうことである。

図2にプラスチックのサイズによる分類と、魚介類の暴露（摂食）試験に使用されたマイクロプラスチック（MP）のサイズの関係を示す。横軸は1nm～1mの対数表示である。

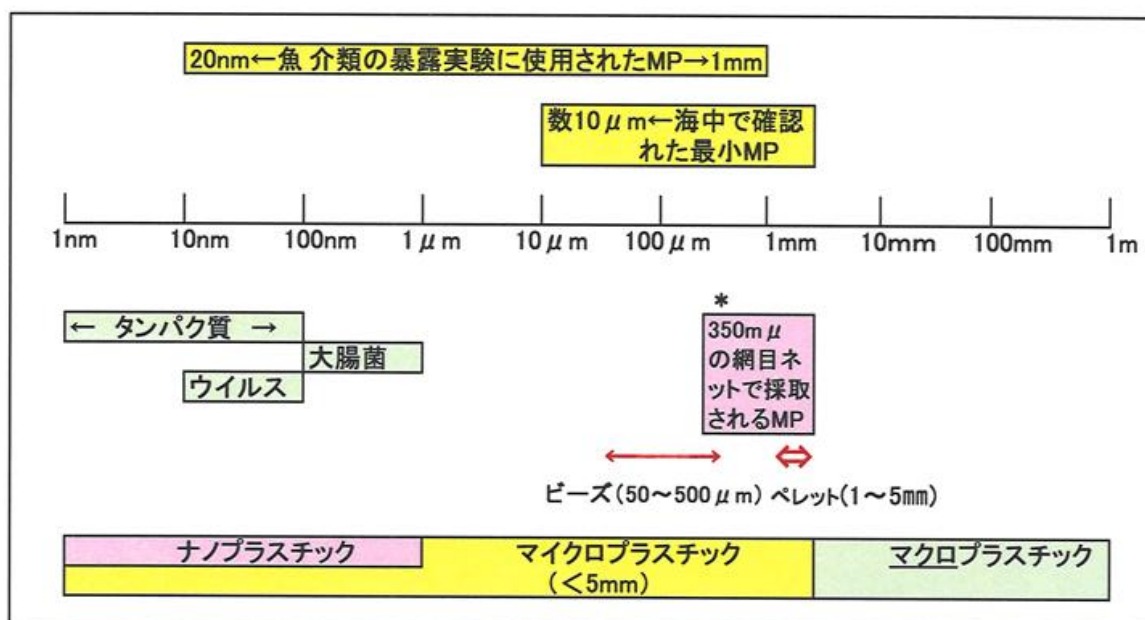


図2 プラスチックのサイズと海洋生物が摂食するプラスチックのサイズ

出典：各種資料より旭リサーチセンターが作成。

実験室での暴露実験に使用されたマイクロ(ナノ)プラスチックのサイズは、20nm～1mmの範囲である。一方、自然の海洋中で現在確認されているマイクロプラスチックの最小サイズは数十µm程度である。ナノプラスチックは海洋中では確認されていない¹。

なお、サイズを実感するために例を挙げると、スーパーのレジ袋の厚みは20～30µmで、スーパーにロール状においてある薄いフィルムは約10µmである。

¹ GESAMP リポート No. 90、64 頁(2015) (参考文献(5))

また、漂流中のマイクロプラスチックを採取するためのニューストンネットの網目(350 μ m)とそれを使って採取されるマイクロプラスチックのサイズを図2に記載した。ニューストンネットはもともと、海洋表層を浮遊するプランクトンや卵・稚子魚の採取に用いるネットである。マイクロプラスチックはプランクトンと同じサイズかそれ以下なので、マイクロプラスチックを海洋中から経済的に分離・回収する方法はない。マイクロプラスチックのもう1つの大きな問題点である。

1.2 漂流マイクロプラスチックの海洋密度

(1) 環境省の最新測定結果

環境省は日本周辺の漂流マイクロプラスチック密度を調査している（参考文献（1））。測定場所は、湾内と沖合の2つがある。

漂流マイクロプラスチック密度は図3のニューストンネットを使って測定している。ネットの網目は350 μ mである。網口は75 cm×75cmで、海面を網口高さの2分の1くらいに維持し、フローメーターで流量を測定する。ニューストンネットは観測船で曳航する。

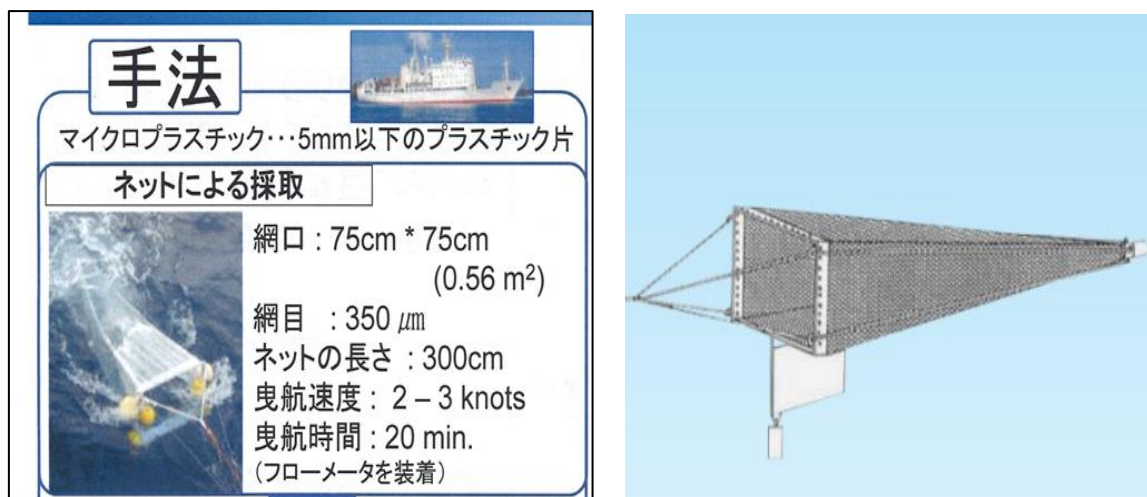


図3 ニューストンネットとその測定手法

出典：環境省（参考文献（2））。

① 湾内漂流のマイクロプラスチック密度

東京湾、駿河湾、伊勢湾の3か所で測定された。5 mm以下のプラスチック片をマイクロプラスチックとして、そのうちの1 μ m～0.1 mm（球形）をマイクロビーズとして個数を測定した結果が表1である。東京湾、駿河湾、伊勢湾の測定点20点のうち、18地点のマイクロプラスチック密度は約1 個/ m^3 以下であったが、多摩川河口(9.7 個/ m^3)、鶴見川河口(5.1 個/ m^3)の2地点は高い値を示した。ただし、図8(10頁)に示すように、この湾内漂流マイクロプラスチック密度は沖合漂流のマイクロプラスチック密度と比べて特に高いわけではない。

また、マイクロビーズは東京湾の3地点、伊勢湾の3地点で採取された。6地点のマイクロビーズのマイクロプラスチック中に占める比率は7%以下であった。

表1 東京湾、駿河湾、伊勢湾のマイクロプラスチックとマイクロビーズの密度(2015年度)

採取地点		マイクロプラスチック密度 (個/ m^3)	マイクロビーズ密度 (個/ m^3)	マイクロビーズの比率(%)	採取地点		マイクロプラスチック密度 (個/ m^3)	マイクロビーズ密度 (個/ m^3)	マイクロビーズの比率(%)
東京湾	江戸川河口域	0.452	0	0	駿河湾	富士川河口域	0.633	0	0
	千葉港外港部	0.726	0	0		沼津沖	0.558	0	0
	京葉シーバース	0.888	0.032	3.6					
	小櫃川河口域 (姉ヶ崎市)	0.564	0	0		西伊豆沖	0.256	0	0
	富津・金谷沖	0.331	0.023	7.1					
	多摩川河口域	9.688	0	0					
	鶴見川河口域	5.107	0.116	2.3					
伊勢湾	伊勢湾シーバー ス付近(四日市市)	0.182	0	0	伊勢湾	答志島沖(鳥羽市)	0.406	0	0
	木曾川河口域	0.161	0	0		国崎沖(志摩市)	1.627	0.03	1.9
	鈴鹿川河口域	0.564	0.009	1.7		矢作川河口域	0.408	0	0
	津沖	0.061	0	0		佐久島沖 (南知多町)	0.662	0	0
	宮川河口域(伊勢市)	0.778	0	0		豊川河口域	0.244	0.007	2.7

注：採取地点のカッコ内の都市名は、おおよその位置がわかるように筆者が便宜的に付け加えたもので、正式なものではない。

出典：環境省測定データ (<http://www.env.go.jp/press/files/jp/105485.pdf>) に基づき旭リサーチセンター作成。

図4に、採集されたマイクロプラスチックのサイズ別の個数を示した。細かいプラスチックほど数が多くなっている。数が減少に転じる0.5～0.6 mmはニューストンネットの網目0.35 mm (350 μ m) に近く、一部すり抜けが起こっているためと考えられる。

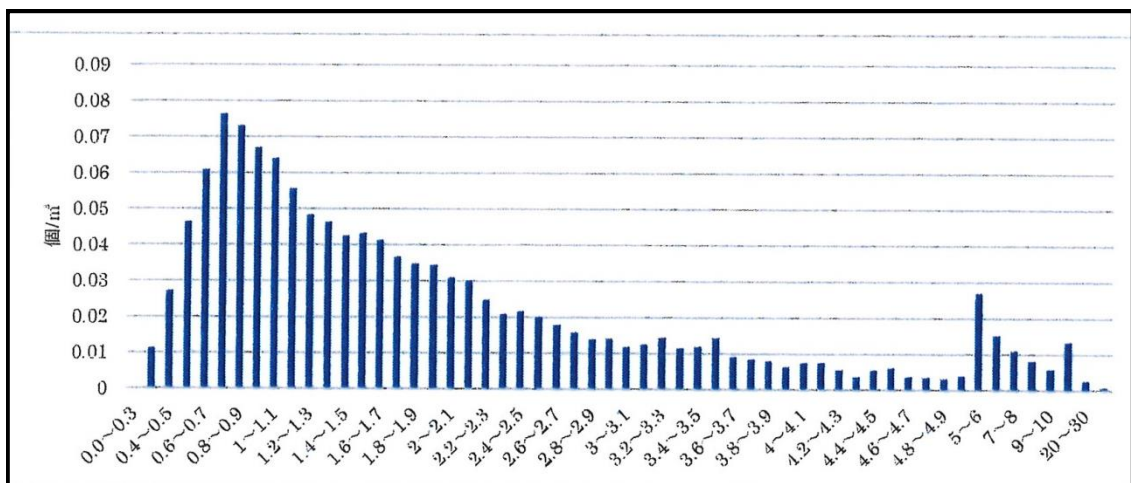


図4 プラスチックのサイズ別個数分布(個/ m^3) (2015 年度)、横軸はサイズ (単位 mm)

注：5 mm以上は間隔が大きくなっているので注意。

出典：環境省 (<http://www.env.go.jp/press/files/jp/105485.pdf>)。

② 沖合漂流のマイクロプラスチック密度

図5に2014年度と2015年度の測定地点を示す。図7に沖合漂流のマイクロプラスチックの密度(個/ m^3)分布を示す(2014年度と2015年度の両方の測定データを含む)。

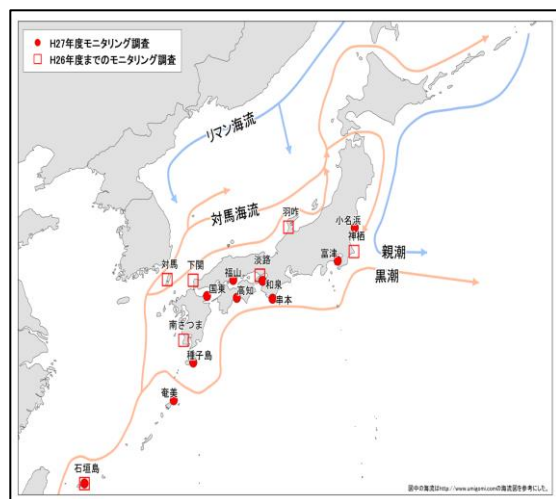
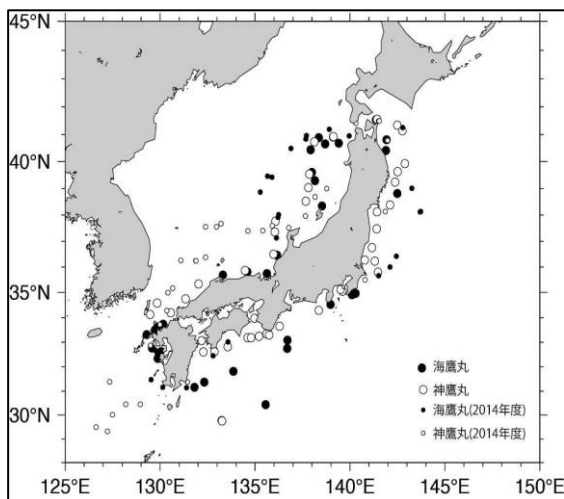


図5 調査地点 (2014 年度と 2015 年度) 図6 日本近海の海流 ((上) の図7の再掲)

出典：環境省 (図5と図7：<http://www.env.go.jp/press/files/jp/105279.pdf>)

図6：<http://www.env.go.jp/press/files/jp/105275.pdf>

図 7 より、東北北部（青森県と岩手県）の日本海と太平洋の沖合に、マイクロプラスチック密度が極めて高いホットスポットがあることがわかる。図 6 と図 7 を見比べてみると、対馬海流に乗ってマイクロプラスチックが漂流し、東北北部に蓄積したことを暗示している。また、高知の南岸から鹿児島南部にかけてホットスポットがある。

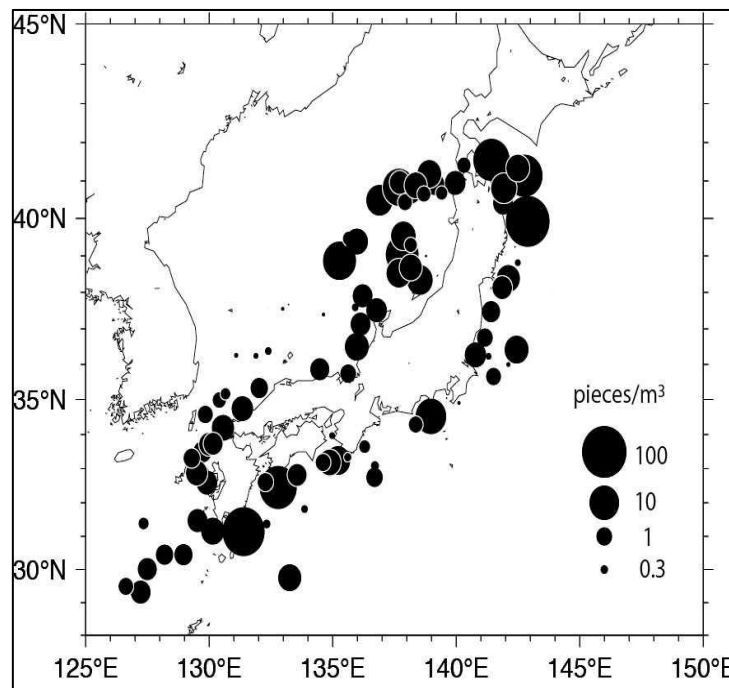


図 7 マイクロプラスチックの密度分布（2014 年度と 2015 年度測定データ）

図 7 の分布図の元データを使って、密度別の測定地点数分布を作成した。これを図 8 の青棒で示す。測定地点数の合計は 110 で、その内訳は 1.0 個/ m^3 未満の地点が 60 と多く、1.0 個/ m^3 以上で 10 個/ m^3 未満の地点が 43、10 個/ m^3 以上 7（10.9、15.8、21.4、25.6、27.4、49.9、87.1 個/ m^3 ）であった。

同様に、表 1 の東京湾、駿河湾、伊勢湾のデータを図 8 の赤棒で示す。沖合漂流のホットスポット（10 個/ m^3 以上の 7 点）は、東京湾の高密度地点（多摩川河口域（9.7 個/ m^3 ）と鶴見川河口域（5.1 個/ m^3 ））の密度を上回っている。

以上のように、沖合漂流で東北北部や九州東南部にマイクロプラスチックのホットスポットが観測された。それらの密度は、表 2(11 頁)のホットスポットの値よりも高く、

世界的に見ても高密度であることがわかる。また、海流によりマイクロプラスチックが集積する場所が発生することが注目される。

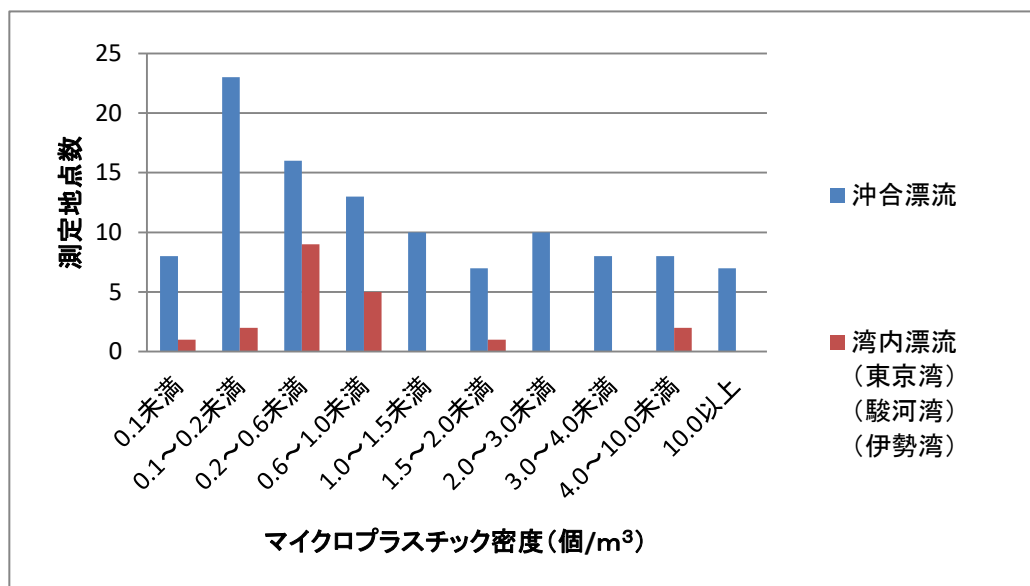


図8 マイクロプラスチックの密度別の測定地点数 (2014～2015 年度)

注：① 横軸のマイクロプラスチック密度は等間隔でないのに注意。
 ② 沖合漂流で 10.0 個/m³ 以上の密度が観察された 7 地点の値は、10.9、15.8、21.4、25.6、27.4、49.9、87.1 個/m³ である。
 出典：環境省データより旭リサーチセンター作成。

(2) 世界と日本の比較

測定法が世界的に統一されていないため、世界の漂流マイクロプラスチック密度を定量的に比較できるデータは少ない。このなかで、図9の磯辺篤彦九州大学教授の研究がよく引用される。それによれば、東アジア海（ホットスポット）は 1,720,000 個/km² で、世界の海（63,320 個/km²）に比べ 30 倍弱の高密度である。瀬戸内海（76,000 個/km²）は世界の海並みである。北太平洋は 105,100 個/km² で少し高い。

なお、ここでは単位に個/km² が使われており、環境省測定の個/m³ の単位とは異なる。基本的には、ニューストンネットの流量がわかれば換算ができる。

磯辺教授は、同一地点について 2 つの単位のデータを参考文献(11)に記載しているので、これを合成して表2を作成した。これによれば東アジア海（ホットスポット）は 3.7 個/m³ で、瀬戸内海は 0.39 個/m³ である。これらの値は、北大西洋のマイクロプラ

スチックの集積地（ホットスポット）の 1.7 個/m³、北極海 0.34 個/m³、地中海 0.15 個/m³、北太平洋 0.12 個/m³と比較できる。

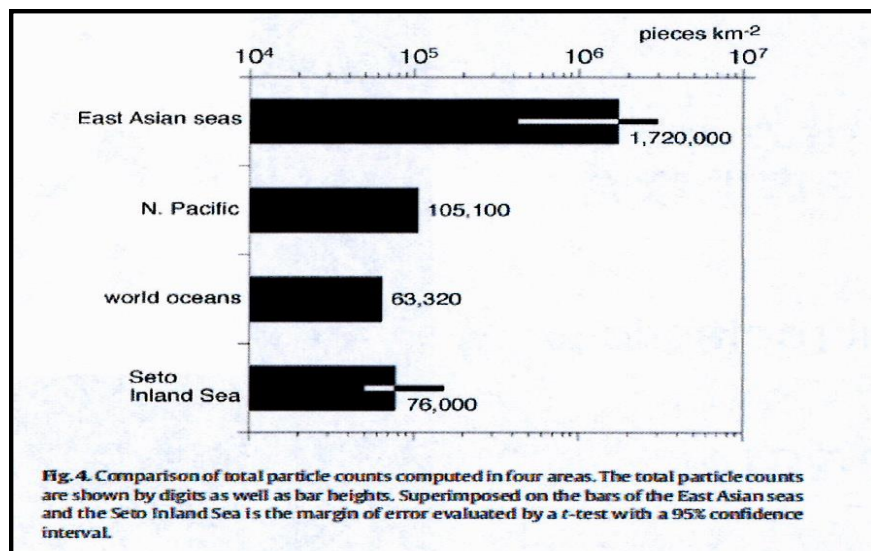


図 9 世界の 4 つの海洋におけるマイクロプラスチックの全粒子数（単位：個/km²）

出典：参考文献(11)：① Atsuhiko Isobe et al., MARINE POLLUTION BULLETIN, 114, 1, 623-626, 2017.01. ② Atsuhiko Isobe et al., MARINE POLLUTION BULLETIN, 101, 2, 618-623, 2015.12.

表 2 世界の海洋におけるマイクロプラスチックの全粒子数と密度

海洋(引用文献)		全粒子数 (個/km ²)	密度 (個/m ³)
東アジア海	(Isobe et al., 2015)	1,720,000	3.7
北太平洋	(Eriksen et al., 2014)	105,100	—
世界の海	(Eriksen et al., 2014)	63,320	—
瀬戸内海	(Isobe et al., 2014)	76,000	0.39
南極・地点1	(Isobe et al., 2017)	286,000	—
南極・地点2	(Isobe et al., 2017)	136,000	—
北大西洋(集積地)	(Reisser et al., 2015)	—	1.7
北極海	(Lusher et al., 2015)	—	0.34
地中海	(de Lucia et al., 2014)	—	0.15
北太平洋	(Goldstein et al., 2012)	—	0.12

出典：図 9 の出典を基に旭リサーチセンターが作成したもの。

磯辺教授は環境省の委託を受けて、2017年に南極海の4地点でマイクロプラスチック密度の測定を行った。4地点のうち、南極大陸に近い地点1と地点2の密度が高く、それぞれ286,000個/km²、136,000個/km²の高い値が観測された(表2)。南極海もマイクロプラスチックで汚染されている。

1.3 自然界における海洋生物のマイクロプラスチック摂食状況

これまでに海洋に生息する100種以上の生物（哺乳類、海鳥、魚介類、プランクトンなど）がマイクロプラスチックを摂食していることがわかっている。また、食用の魚類、貝類、甲殻類（エビ、カニ）の体内からマイクロプラスチックが相当な比率で検出されている。以下、研究例が多い海鳥と食生活に直結する魚介類の摂食状況について述べる。

(1) 海鳥

海洋プラスチックによる悲惨な影響が最初に報告された生物種の一つが海鳥である。廃棄された漁具網に絡まって死亡する海鳥や、多量のマイクロプラスチックを摂食した海鳥が発見された。

自然界における海鳥のマイクロプラスチック摂食状況について多数の報告がある。このうち定量的データがある66の研究例について、マイクロプラスチック摂食比率（％）と個体1個当たり（鳥1羽当たり）のマイクロプラスチック摂食個数に関する分布を図10にまとめた。なお、研究例の検体数（個体数）は1～100の範囲である。このうち、60件以下の研究例が多く、特に10件程度が多い。

調査が行われた海鳥の種類（Family）は、図10に示す7種類である。世界の海洋に棲む海鳥が測定されている。また、海鳥が摂食したのはプラスチックのペレット（5 mm以下）か細片（フラグメント：2～8 mm）で、ペレットの方が多い。

図10によれば、マイクロプラスチック摂食比率が50%未満では、海鳥1羽（個体1個）当たりの摂食個数は5個以下であるが、摂食比率が50%以上では、摂食比率の増加とともに摂食個数は増加し、5～15個のものの割合が多くなる。なお、グラフに収まらないので記載していないが、摂食個数が37個と49個と非常に多いデータもある。

以上のように、海鳥は摂食比率が高く、しかも摂食個数が多い。

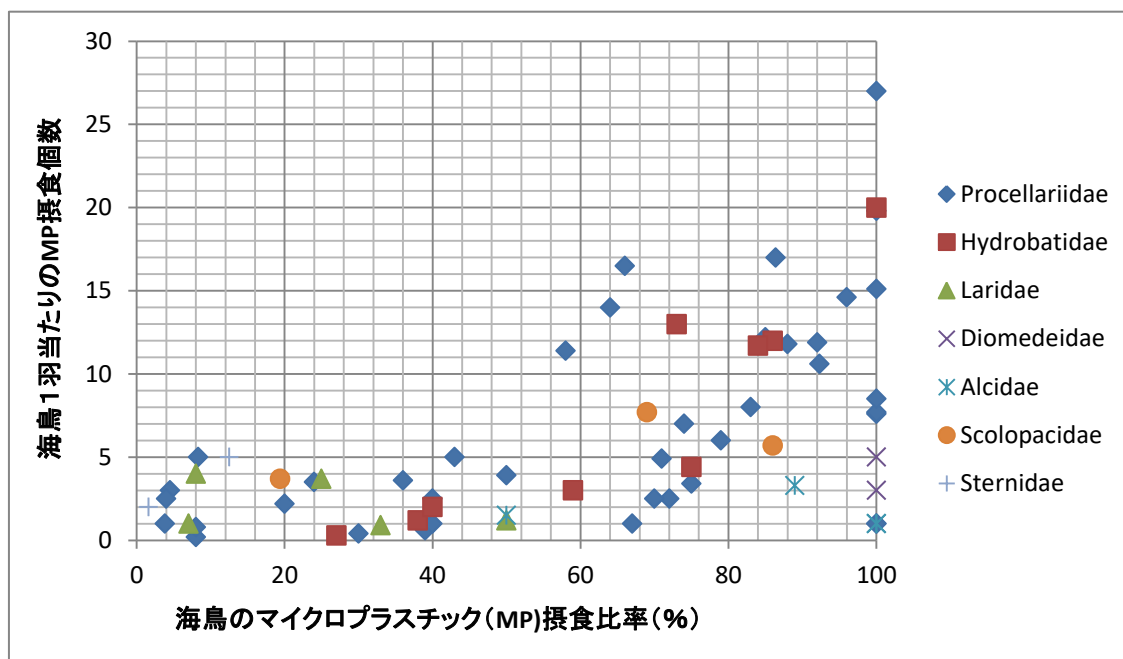


図10 各文献における海鳥のMP摂食比率(%)と海鳥1羽当たりのMP摂食個数の分布

注：① (92.5%、37個)と(13%、49個)の2つのデータはグラフに収まらないので図に入っていない。

② 海鳥の種類(Family)別にプロットした。Familyとしては、Procellariidae(各種のpetrel、fulmar、shearwater、prion)、Hydrobatidae(storm petrel)、Laridae(各種のgull、kittiwake)、Diomedidae(各種のalbatross)、Alcidae(各種のauklet、puffin、murre、skua)、Scolopacidae(各種のphalarope)、Sternidae(各種のtern)がある。

出典：UNEP, “Marine plastic debris and microplastics” (2016) (参考文献(8))のANNEX VI.の文献データに基づいて旭リサーチセンターがプロットして作成。

(2) 魚類

① 東京農工大の高田秀重教授は、東京湾で釣ったカタクチイワシ63匹中の49匹からマイクロプラスチックを検出した。マイクロプラスチック摂食比率は80%である。またマイクロプラスチックの内訳はプラスチックの細片が80%、マイクロビーズが10%、ファイバー(繊維)が7%であった(参考文献(4))。

② 日経新聞や毎日新聞によれば²、『海に漂う微細なマイクロプラスチックを体内に取り込んだ魚が東京湾や大阪湾、琵琶湖など国内の広い範囲で見つかり、調査した魚全体の4割に上ったとの結果を、京都大の田中周平准教授(環境工学)らのチームが5日までにまとめた。チームは2016年10～12月、女川湾(宮城県)、東京湾、敦賀湾(福井県)、英虞湾と五ヶ所湾(三重県)、琵琶湖(滋賀県)、大阪湾で調査した。計197匹の魚を採

²日経新聞 2017年9月15日：https://www.nikkei.com/article/DGXLASDG05H0Y_V00C17A9CR0000/

取し、消化管を調べると4割に当たる74匹からマイクロプラスチック計140個が見つかった。検出率が最も高かったのは東京湾のカタクチイワシで約8割に達した。次いで大阪湾のカタクチイワシが5割近く、女川湾のマイワシが4割だった。

カタクチイワシやマイワシは、吸い込んだ水をえらでろ過してプランクトンを食べるため、エサと一緒にマイクロプラスチックをのみ込んでいるらしい。こうした魚からは5割強で見つかり、アジなどほかの食べ方をする魚の約2割を大きく上回った』。

③ UNEPの資料（参考文献（8）のANNEX VI.）に、魚類のマイクロプラスチック摂食に関する文献データがリストアップされている。多くの魚類がマイクロプラスチックを摂食していて、海洋の表層に棲む魚も海底に棲む魚も摂食している。

表3はそのうちの代表的な研究例で、採取した魚の種類、マイクロプラスチック（MP）摂食比率、魚1匹（個体1個）当たりのMPの摂食個数、摂食MPのサイズと形状、採取場所（海洋）、引用文献をまとめたものである。魚はすべて食用種である。プラスチックの細片やファイバーを摂食したものが多く、それらのサイズはばらついているが、数mmのことが多い。

表3 海洋環境における食用魚類のマイクロプラスチック摂食状況

海洋種	海洋種 (日本名)	MP摂食比率		MP摂食 個数 /個体	摂食MP		採取場所 引用文献
		摂食個体/全 個体、%			サイズ (mm)	形状	
Atlantic hering	ニシン	8/566	2%	1～4	0.5～3	細片	北海 Foekemaら 〔2013〕
Cod	タラ	10/80	25%	1・2・16	1.2	細片	
Whiting	小型のタラ	6/105	6%	1・3・16	1.7	na	
Haddock	コダラ	6/97	6%	1	0.7	細片	
Horse mackerel	アジ	1/100	1%	1	2.5	細片	
Whiting	小型のタラ	16/50	32%	1.75	2.2	細片、 ファイバー、 ビーズ	イギリス海峡 (plymouth) Lusherら 〔2013〕
Blue whiting	プタスダラ	14/27	52%	2.1	2.1		
Horse mackerel	アジ	16/56	29%	1.5	2.2		
Poor cod	プアーコード	20/50	40%	2	2.2		
John dory	マトウダイ	20/42	48%	2.7	2.2		
Red gurnard	ハウボウ	34/56	60%	1.9	2.1	細片	
Hake	メルルーサ	6/12	50%	0.33	5以下	ファイバー	北東大西洋 Nevesら 〔2015〕
Monkfish	アンコウ	1/2	50%	0.5	5以下	ファイバー	
Meagre	オオベニ	3/5	60%	0.8	5以下	ファイバー、	
Horse mackerel	アジ	3/44	7%	0.07	5以下	細片	
Chub mackerel	マサバ	11/35	31%	0.57	9.4以下		
Pacific anchovy	カタクチイワシ	3/10	3%	0.3	na、ファイバーとフィルム		USA
Indian mackerel	グルクマ	5/9	56%	1	na、細片とペレット		インドネシア Rochman ら〔2015〕

出典：UNEP, “Marine plastic debris and microplastics” (2016) (参考文献 (8)) のANNEX VI. の文献データに基づいて旭リサーチセンターが作成。

表3より、食用に供される種類の魚がかなりの比率で、マイクロプラスチックを体内に取り込んでいることがわかる。

④ 魚類についても多くの研究が文献に報告されている。このうち、検体数（個体数）、マイクロプラスチック摂食比率、魚1匹（個体1個）当たりのマイクロプラスチック摂食個数の3つのデータがそろっている研究例(57例)を抽出し、2つの分布図を作成した(図11と図12)。魚の種類は食用のものに限定した。

図11よれば、検体数（個体数）とマイクロプラスチック摂食比率（％）は分散しているが、検体数（個体数）が増えるにしたがってマイクロプラスチック摂食比率の最高値が60％から20％に減少する傾向がみられた。その理由はわからない。

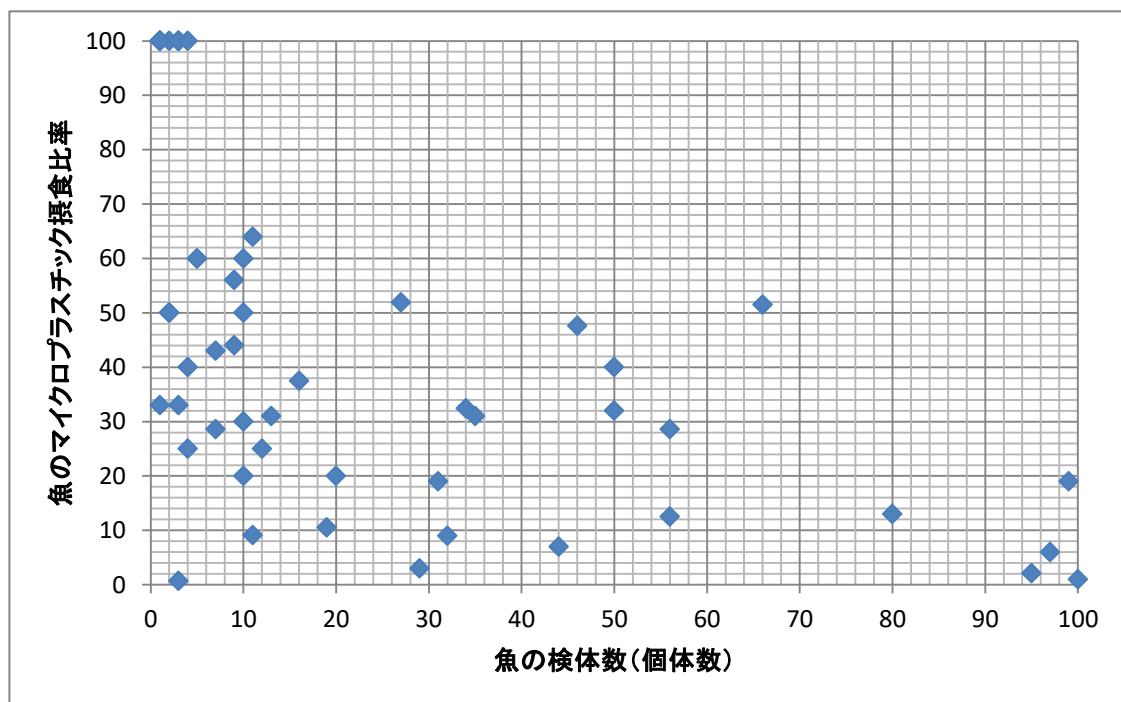


図11 各文献における魚類の検体数（個体数）とマイクロプラスチックの摂食比率（％）の分布

図11と図12の出典：UNEP, “Marine plastic debris and microplastics” (2016)（参考文献（8））のANNEX VI. の文献データに基づいて旭リサーチセンターがプロットして作成。

また、図12によれば魚1匹（個体1個）当たりのマイクロプラスチック摂食個数は、平均1個程度で、ほとんどが2個以下である。海鳥のマイクロプラスチック摂食個数に比べはるかに少ない。

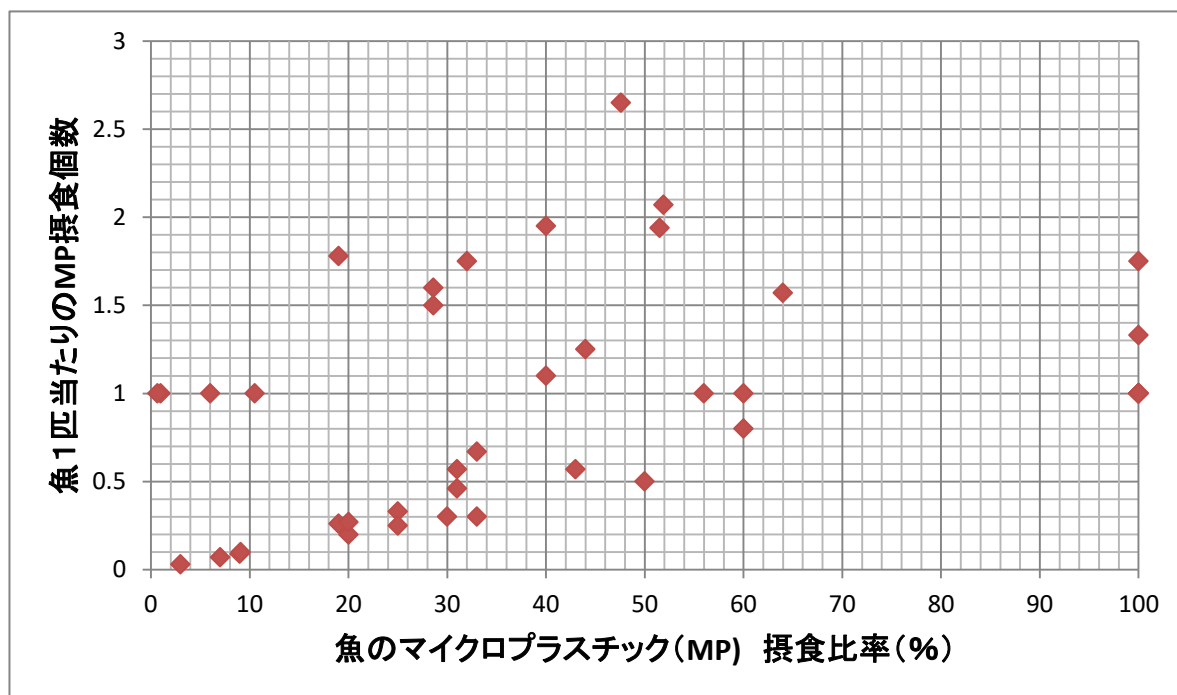


図 12 各文献における魚のマイクロプラスチック（MP）摂食比率（％）と魚 1 匹当たりのマイクロプラスチック（MP）摂食個数の分布

(3) 貝類

食用貝類のマイクロプラスチック摂食状況に関する文献データを表 4 に示す。

表 4 で注目すべきは①の Li らの文献で、中国市場の 9 種類の貝類には 100%マイクロプラスチックが入っており、その個数は 4~57 個と多い。マイクロプラスチックの素材はポリエステル、ポリアミド、ポリエチレンで、形状はファイバー（繊維）、細片、ペレットである。

世界的に、貝類はマイクロプラスチック（特にファイバー）の多い湾内に生息し、ろ過摂食により取り込むので、人間がマイクロプラスチックを摂食する可能性が高い食品といわれる。

北海の食用 Blue mussel（ムール貝）は貝 1g（ウェット状態）当たり、0.26~13.2 個のマイクロプラスチックを含んでいると報告されている³。13.2 個はかなりに多い値ある。同様に、北海のエビからは 1g（ウェット状態）当たり、0.68 個のマイクロプラスチックを含んでいることが報告されている。

³ GESAMP リポート No. 93、78 頁(2016)（参考文献(6)）。0.26~13.2 個の値は、3 つの研究例のデータを合わせたときの最小値~最大値である。

表 4 海洋環境における貝類のマイクロプラスチック（MP）摂食状況

引用文献	海洋種	海洋種 (日本名)	MPの摂食比率	摂食MP数		MPのサイズ MPの形状 (プラスチック)	採取場所
			摂食個体数 ／全個体数 (%)	個 ／個体	個 ／g		
①	Mediterranean mussel	ムラサキイガイ	18/18 (100)	4.33		5mm以下 ファイバー、 細片、 ペレット (PET, PA, PE)	すべて中国の魚市場
	Ark shell	アカガイ	6/6 (100)	45			
	Blood cockle	ハイガイ	18/18 (100)	5.33			
	Yesso Scallop	ホタテガイ	6/6 (100)	57.17			
	Fingerprint oyster	カキの一種	16/16 (100)	10.78			
	Chinese razor clam	揚巻貝	6/6 (100)	14.33			
	Carpet shell	ハマグリ的一种	24/24 (100)	5.72			
	Orient clam	ハマグリ	18/18 (100)	9.22			
	Cyclina sinensis	オキシジミ	30/30 (100)	4.82			
②	Mediterranean mussel	ムラサキイガイ	5/na		0.25	5mm以下 ファイバー、粒子	Goro, イタリア
			17/na		0.04		Ebto, Delts, スペイン
	Blue mussel	ムラサキイガイ (ムール貝)	5/na		0.06		Baie de Saint Brieux フランス
			5/na		0.32		Inschot, オランダ
③	Blue mussel	ムラサキイガイ	36/na		0.36	5-25 μ	北海、ドイツ
	Pacific oyster	カキ	11/na		0.47	5-25 μ	大西洋
④	Blue mussel	ムラサキイガイ	20/na	34-75		ファイバー	Nova Scotia, カナダ
⑤	Pacific oyster	カキ	12/40 (30)	0.6		ファイバー	USA

引用文献 ① Li et al., 2019 ② Vandermeersch et al., 2015 ③ Van Cauwenberghe & Janssen., 2014
④ Mathion&Hill, 2014 ⑤ Rochman et al., 2015

出典：UNEP, “Marine plastic debris and microplastics” (2016) (参考文献 (8)) のANNEX VI. の文献データを基に旭リサーチセンター作成。

1.4 海洋生物のマイクロプラスチック摂食による影響（実験室データ）

漁網のような大きな物体が海洋生物の生体に与える影響は例証されてきたが、マイクロプラスチックの生体に与える影響を海洋の実地調査から明らかにすることはそれに比べずっと難しい。そのため、研究者は実験室を使って、海洋生物によるマイクロプラスチックの取込み、保持、排泄とその影響について調査した。

実験室で海洋生物にマイクロプラスチックを暴露（摂食）させて、生体への影響を調査した結果を図13に示す。これは、GESAMPリポートNo. 93（2016年）（参考文献(6)）のFig. 4.3の転載で、日本語訳を一部追加したものである。

図 13 のマル(○)や横棒は、それぞれ 1 つの研究例を表している。横棒の長辺は使用したマイクロプラスチックのサイズの範囲を示す。また、横棒の左に矢印が付いているものは、サイズの下限が不明のものである。

図 13 の横軸はマイクロプラスチックのサイズで、単位はmmの対数表示である。数十 nm～10mm のサイズのマイクロプラスチックが実験されているが、その中心は $1\mu\text{m}$ ～5mm の範囲である。

各種の海洋生物の暴露(摂食)実験が行われた。図 13 の一番上は最も小さい植物プランクトンで一番下はアザラシ・セイウチである。その間に各種のプランクトンや魚介類などがある。

なお、実験室実験では、海洋生物は自然界とはかけ離れた高密度のマイクロプラスチックに暴露されている。例えば、実験室実験では付属資料(43 頁)に示すように 200～1,000 個/ml ($200\times 10^6\sim 1,000\times 10^6$ 個/ m^3) の高密度であるが、実際の海洋ではホットスポットでも 10～100 個/ m^3 である。

暴露による海洋生物への影響度は、赤色(重大な影響)から、オレンジ色(重要な影響)、黄色(影響)、緑色(ささいな影響)、青色(影響が観察されなかった)までの5段階に分類されている(図 13 の色)。

図 13 に示すように、植物プランクトンと動物プランクトン(カイアシ類)に数十～数百 nm のナノプラスチックを暴露させた研究で、赤色の重大な影響が観察された(詳細は付属資料(43 頁))。また、動物プランクトン(カイアシ類)、5 cm以下の魚、二枚貝(ムール貝、カキ)、ゴカイに $1\mu\text{m}$ ～1mm のマイクロプラスチックを暴露させた実験で、オレンジ色または黄色の影響が観察された(付属資料(43 頁))。

影響の出ている研究例の詳細な実験条件と結果を、43 頁の付属資料にまとめた。

ただし、前述のように実験室では非常に高密度のマイクロプラスチックに海洋生物は暴露されており、自然界で同じことが起こるかどうかはわからないといわれる。

また図 13 に示すように、青色(影響なし)と緑色(ささいな影響)の研究例がかなり多い。そして、同じ生物種でも影響ありの研究例と影響なしの研究例が混在している。

GESAMP は、種の個体(individual)レベルでは影響がでている場合があるが、その種の集団(Population)レベルの影響が出ている例はないと結論している。

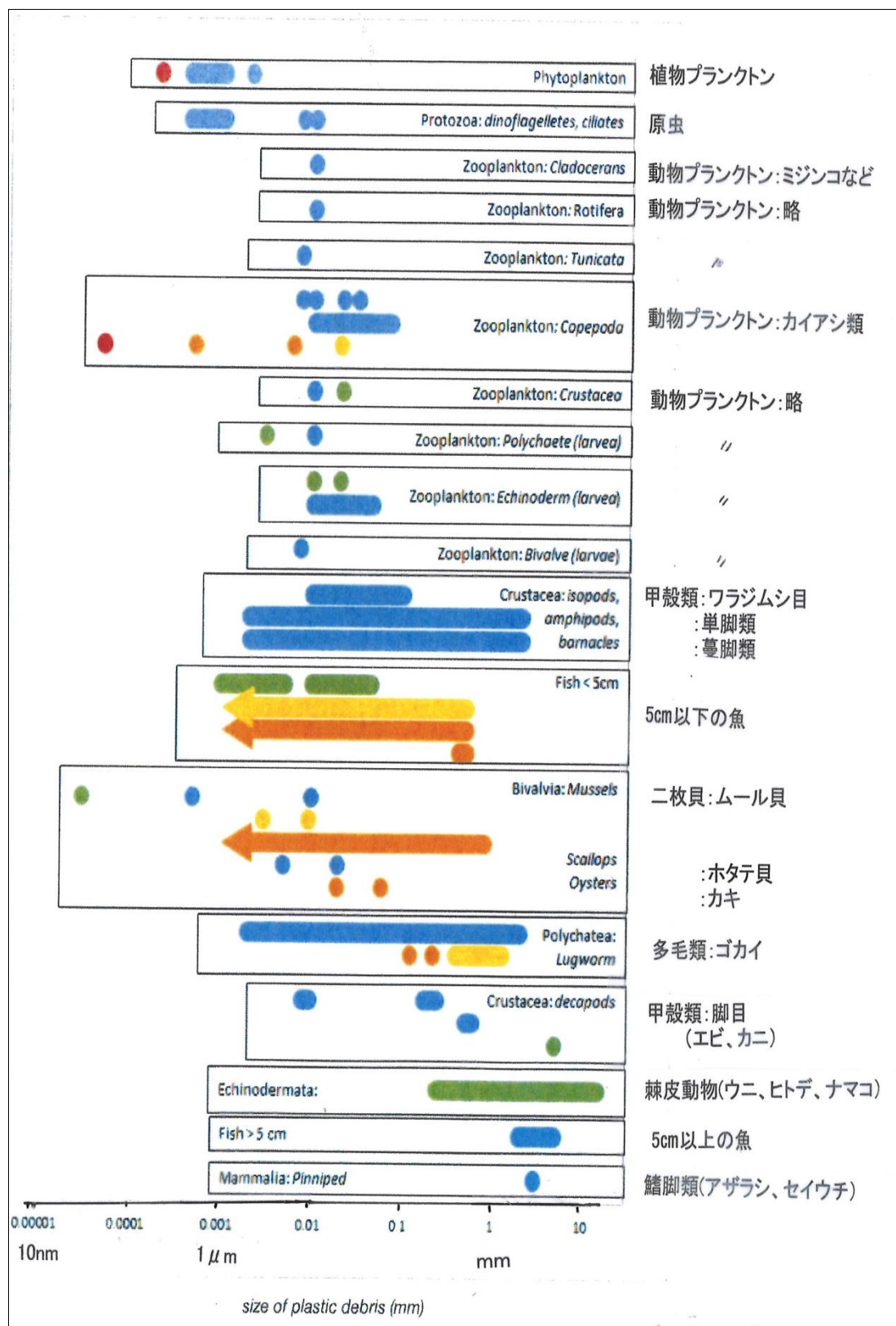


図 13 海洋生物を高密度のマイクロプラスチックに暴露した実験室実験の要約

(2015 年 11 月までに出版された文献データを GESAMP が要約したもの)

出典: GESAMP リポート No. 93、Fig. 4.3 (2016) 参考文献(6)

1.5 ナノプラスチック

実験室で海洋生物がナノプラスチック粒子を摂食すると、図13に示すように赤色の影響(重大な影響)が観察された。また、ナノプラスチックが魚の細胞膜を透過して細胞に到達することが実験室で確認された。そして細胞膜を透過したナノプラスチックの存在に対して生体が応答する現象が観察された。炎症や細胞損傷を引き起こす応答であり、そののち治癒する応答や、ナノプラスチックを繊維状に包み込む応答があった⁴。

ナノプラスチックの有害性はマイクロプラスチックほどにはわかっていない。一方、プラスチック以外のナノ物質(粒子)が細胞膜を透過することは既に広く知られている⁵。このため、ほかのナノ物質(粒子)の生物学的影響の知見や薬学の知見から多くを推論している段階である。UNEPとGESAMPはナノプラスチックの生物学的影響は複雑で、しかも知見が少ないことから早急に影響を調べる必要があると強調している。

1.6 マイクロプラスチックのPOPs汚染

(1) マイクロプラスチックのPOPs汚染とは

① POPs (Persistent Organic Pollutants : 残留性有機汚染物質) とは

マイクロプラスチックに関係するPOPsは、表5に示すPCBs、DDTs、HCHs、PBDEsなどである。それぞれ異性体があるので、複数形の表示となる。異性体により、毒性やその他の性質が大きく異なる場合が多い。

POPs は、環境中で分解しにくく(難分解性)、食物連鎖などで生物の体内に蓄積しやすく(高蓄積性)、長距離を移動して、極地などに蓄積しやすい(長距離移動性)などの特徴がある。「残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約」(POPs 条約とも呼ばれる)に基づき化学物質が指定され、生産、販売、使用が厳しく禁止(または規制)された⁶。POPs 条約は 2001 年 5 月 22 日に採択され、日本は 2002 年に受諾している。

⁴ GESAMP リポート No. 90、64 頁 (2015) (参考文献(5))

⁵ GESAMP リポート No. 93、11 頁、60 頁 (2016) (参考文献(6))。

⁶ 環境省 <http://www.env.go.jp/chemi/pops/>

表5 マイクロプラスチックが含有するPOPs（残留性有機汚染物質）

略号	名称	性状	用途	生物濃縮性 毒性	マイクロプラスチックとの関係
PCBs	Polychlorinated biphenyl (ポリ塩化ビフェニル)	液体	電気機器の 絶縁油	生物濃縮性あり 発がん性、催奇性あり 特にコブラナPCBが毒性強 (カネミ油症事件)	マイクロプラスチックは海水中 のPCBs、DDTs、 HCHsを吸着する
DDTs	Dichlorodiphenyltrichloroethane ジクロロジフェニルトリクロルエタン	固体 (融点 109℃)	殺虫剤	生物濃縮性あり IARC分類はグループ2B: 「発がん性があるかもしれない」	
HCHs	Hexachlorocyclohexane ヘキサクロロシクロヘキサン	固体	殺虫剤	生物濃縮性あり 毒性あり 第一種特定化学物質	
PBDEs	Polybrominated diphenylether ポリ臭化ジフェニルエーテル	固体	プラスチック・ 繊維・断熱材 の難燃剤	生物濃縮性あり ペンタ・オクタ異性体は甲状腺 ホルモン濃度低下作用	もともとPS、PP、 PEなどに練り込まれたもの

注：PS(ポリスチレン)、PP(ポリプロピレン)、PE(ポリエチレン)。

出典：各種資料より旭リサーチセンター作成。

② マイクロプラスチックによる PCBs、DDTs、HCHs の吸着

PCBs は電気機器の絶縁油、DDTs と HCHs は殺虫剤として過去に使われていたが、現在は使用禁止である。PCBs は過去に河川や海に捨てられたものが、密度が高いので海底に沈積している。東京湾などでは海底を浚渫（しゅんせつ）して PCBs を除去したが、完全に除くことはできないので今も一部海底に残っている。

本レポート(上)の表 10 に示したようにポリエチレン、ポリプロピレン、ポリスチレンは疎水性なので、海水中で同じ疎水性の PCBs を吸着しやすい。これらプラスチックのペレットや細片は、海洋中のきわめて希薄な POPs を吸着し、例えば、数百～数千 ng/g プラスチック(以下、プラスチックは省略する)の濃度になることが見出された。

海水中の PCBs とマイクロプラスチックの間には吸着・脱着の平衡関係にある。50 μ m のポリエチレンフィルムは 50 日間で海水中の PCBs を吸着して平衡に達し、ポリエチレンペレットは比表面積が小さいので平衡に達するのに 1 年を要する⁷。

⁷ GESAMP リポート No. 90、45 頁(2015) (参考文献(5))。

また脱着平衡があるので、PCBs 含有ペレットが PCBs に汚染されていない外洋を漂流すると、ペレットから PCBs が脱着して PCBs 濃度は低くなり、最終的にはほとんどゼロになる。

③ プラスチックに練り込まれた PBDEs

PBDEs は臭素系の難燃剤で、電気製品のプラスチック部品、合成繊維、有機断熱材などに幅広く使用されてきた⁸。例えば、プラスチック分野では、ポリスチレンに PBDEs を練込んで難燃グレードのペレットがつくられた。そのペレットを成形して、電気製品の部品（TV のケースなど）がつくられた。

ペレットやプラスチック加工製品には難燃剤を含むものと含まないものがあるので、沿岸や海洋で採取されるペレットやプラスチック細片には PBDEs を含むものと含まないものがある。

PBDEs にはペンタ異性体、オクタ異性体、デカ異性体の 3 種類の工業原料があるが、毒性のあるペンタ異性体とオクタ異性体は使用禁止になり、その後は毒性の少ないデカ異性体を使用した。

デカ異性体は、プラスチックとの親和性が高く脱着しにくいいため、外洋でも高濃度の PBDEs 含有マイクロプラスチックが散発的に検出される。PCBs 含有マイクロプラスチックが外洋で PCBs を脱着するのとは対照的である。

(2) マイクロプラスチック中の POPs 濃度（世界の文献データ）

① GESAMP は、海洋プラスチック中の POPs などの濃度について、世界の文献データを集約している（表 6）⁹。測定化学物質は POPs の PCBs、DDTs、HCHs、PAHs（ポリサイクリックアロマティクス）、PBDEs や、その他化学物質の NP（ノニルフェノール）と BPA（ビスフェノール A）である。NP はプラスチックの熱安定剤としてプラスチックに練り込まれて使用される。BPA はプラスチックのエポキシ樹脂やポリカーボネート樹脂の主原料で、樹脂中に残存モノマーとして存在する。

⁸ <http://www.toxipedia.org/pages/viewpage.action?pageId=296>

⁹ GESAMP リポート No. 93、56 頁（2016）（参考文献(6)）

プラスチックの種類はポリエチレン (PE)、ポリプロピレン (PP)、ポリスチレン (PS) である。また、サンプルのサイズは 0.1 mm～35 mm である。

POPs 濃度の中間値 (median) は、PAHs 1,335ng/g、PBDEs 412ng/g、PCBs 240ng/g になっている (1ppm は 1,000ng/g)。また、ノニルフェノール (NP) は 2,660ng/g と非常に高く、ビスフェノール A (BPA) は 284 ng/g である。

表 6 海洋プラスチック中の化学物質の濃度

化合物 名称	プラスチック の種類	サイズ (mm)	濃度		引用文献
			ng/ g プラスチック		
			最低値～最高値	中間値	
PCBs	PE、PP、PS	0.1～35	ND～5,000	240	1～16
DDTs	PE、PP、PS	na	ND～7,100	88	1、3、5、12 13、14、15
HCHs	PE	1～5	0.14～112	20	10、12、13
PAHs	PE、PP、PS	1～35	ND～12,000	1,335	1、5、6、8、10、 12、14、16、21
PBDEs	PE、PP	～35	ND～16,444	412	8、16～18
BPA	PE、PP	～35	ND～729.7	284	8、16
NP	PE、PP	1～35	ND～16,000	2,660	8、11、16

注：①濃度のNDは検出されなかったことを意味する。また、濃度の中間値 (median) は文献の各研究で報告された最大値の中間値である。

②引用文献：1=Antunes et al. (2013)；2=Carpenter et al. (1972)；3=Colabuono et al. (2010)；4=Endo et al. (2005)；5=Frias et al. (2010)；6=Gauquie et al. (2015)；7=Gregory (1978)；8=Hirai et al. (2011)；9=Hosada et al. (2014)；10=Karapanagioti et al. (2011)；11=Mato et al. (2001)；12=Mizukawa (2013)；13=Ogata et al. (2009)；14=Rios et al. (2007)；15=Ryan et al. (2012)；16=Teuten et al (2009)；17=Tanaka et al. (2013)；18=Tanaka et al. (2015)；19=Al-Odaini (2015)；20=Llorca et al (2014)；21=Karapanagioti et al. (2010)。

出典：GESAMP リポート No.93、Table 4.1(2016) (参考文献(6))。

② 東京農工大の高田秀重教授が立ち上げた世界的ボランティア団体の「ペレットウォッチ (International Pellet Watch)」は、世界の沿岸に漂着したペレットの PCBs 濃度を測定し、その結果を公表している (図 14)¹⁰。図 14 によれば、日本の 2 地点の値は

¹⁰ 「ペレットウォッチ」は 2005 年に発足し、世界 50 か国の 80 グループと個人が参加している。世界各地よりペレットサンプルを郵送で研究室に送ってもらい、これを分析し発表している。

450ng/g、453ng/g と高濃度であるが、北米の高いところと同レベルである。

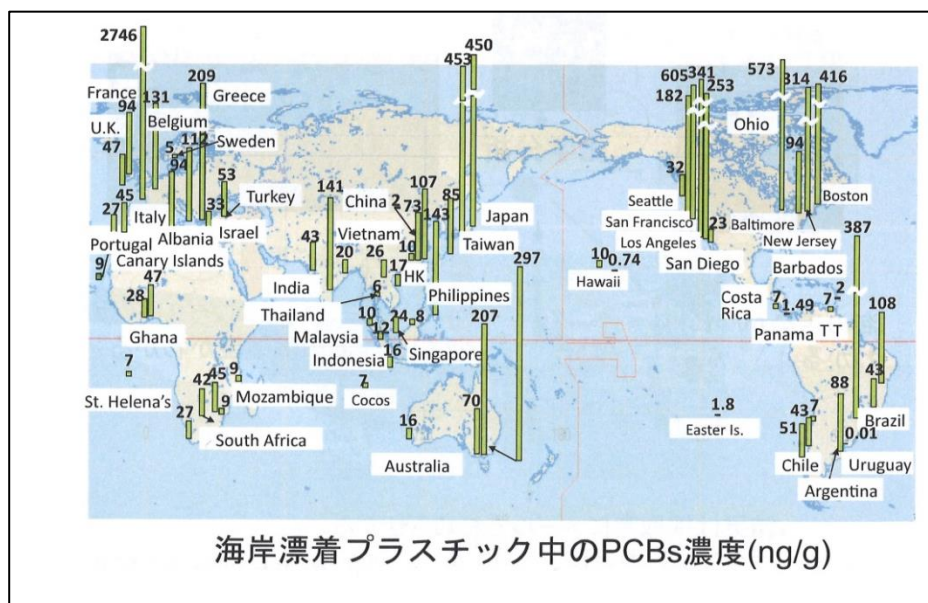


図 14 「ペレットウオッチ」による海岸漂着プラスチック中の PCBs 濃度 (ng/g)

出典：高田秀重東京農工大学教授（参考文献（4））。

(3) マイクロプラスチック中の POPs 濃度(環境省の最新測定結果)

① 海岸漂着マイクロプラスチック（ペレットや細片）中の POPs 濃度

採取されたレジンペレット（一次的マイクロプラスチック）とプラスチック細片（二次的マイクロプラスチック）の写真をそれぞれ図 15 と図 16 に示す。



図 15 レジンペレット（千葉県富津市引海岸）（一次的マイクロプラスチック）



図 16 プラスチック細片（高知県高知布市）（二次的マイクロプラスチック）

図 15 と図 16 の出典：環境省 (<http://www.env.go.jp/press/files/jp/105275.pdf>)。

環境省による PCBs、DDTs、HCHs、PBDEs の測定結果を表 7 に示す。

PCBs は、東京湾、湘南、大阪、今治で高い濃度 (200～940ng/ g (0.2～0.94ppm)) が観測されている。しかし、図 14 に示すように、世界の大都市部沿岸の値と比べ特に高いレベルではない。

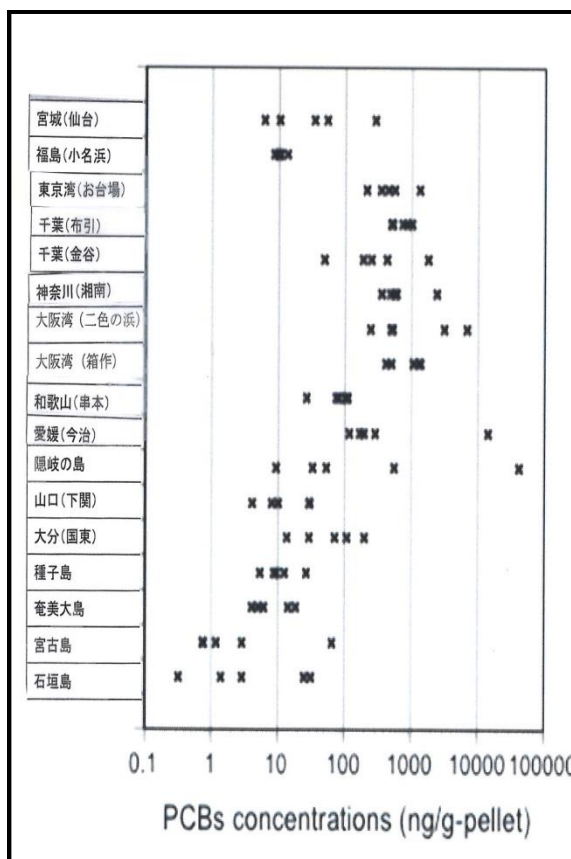
仙台、小名浜、高知、下関、種子島、奄美大島、宮古島、石垣島では PCBs 濃度が 10ng/ g 以下で低濃度である。外洋では PCBs 含有ペレットは平衡反応で PCBs を脱着し、含有量が非常に少なくなるといわれる。その意味では、隠岐の島の 52.8ng/ g は高い値である。

表 7 海岸漂着ペレットの POPs 濃度
(2015 年度)

場所	POPs (単位:ng/g)			
	ΣPCBs	ΣDDTs	ΣHCHs	ΣPBDEs
宮城(仙台)	31.6	4.8	1.3	-
福島(小名浜)	9.5	9.6	0.8	-
東京湾(お台場)	357.6	23.4	0.1	-
千葉(金谷)	213.6	24.5	16.6	-
千葉(布引)	670.9	-	-	0.0
神奈川(湘南)	509.1	36.6	2.0	-
和歌山(串本)	70.3	28.6	0.1	-
大阪湾(二色の浜)	502.7	21.9	0.8	-
大阪湾(箱作)	942.5	23.8	0.4	-
愛媛(今治)	201.1	147.1	2.2	-
高知(破片)PE	6.4	-	-	1.2
高知(破片)PP	4.5	-	-	0.9
隠岐の島	52.8	9.6	5.1	-
山口(下関)	9.4	12.2	6.1	-
大分(国東)	63.4	3.0	0.4	-
種子島	9.4	17.4	0.2	-
奄美大島	6.4	3.1	0.4	-
宮古島	0.9	2.8	0.5	-
石垣島	2.7	5.4	3.3	-

*1 Σはそれぞれの POPs の異性体の合計を意味している。
*2 上記の濃度は、国際的なモニタリング(IPW)において行われている方法に沿って、地点毎に採取した 5 サンプルにおける濃度の中央値を記載したもの。

図 17 各測定点での 5 つのペレット間の PCBs 濃度のばらつき(2015 年度)



出典:環境省 (表 7 : <http://www.env.go.jp/press/files/jp/105275.pdf>、
図 17 : <http://www.env.go.jp/press/files/jp/105276.pdf>)。

図 17 は表 7 の PCBs の個別データで、5 つのペレットの分析値である。5 つのペレットの中間値が表 7 に記されている。図 17 からわかるように、各測定地点とも最低値と

最高値は数 10 倍の差がある。隠岐の島については、10ng/g ～5,000ng/g と 500 倍のばらつきがある。

② 漂流マイクロプラスチック中の POPs 濃度

海洋の表層中を漂流しているマイクロプラスチックをニューストンネットで採取して、1～5 mm 径の L-MP (大きいサイズのマイクロプラスチック) と 0.3～1 mm 径の S-LMP (小さなサイズのマイクロプラスチック) に分類し、それぞれについて POPs 含有量を測定した結果が表 8 である。なお、マイクロプラスチックの種類は PE (ポリエチレン) と PP (ポリプロピレン) と同定されている。漂流マイクロプラスチックは、前述の漂着マイクロプラスチックに比べ濃度が低い。また、S-MP のほうが L-MP に比べて、全般に濃度が高い傾向がみられる。PBDEs は東京湾 (湾央) の S-MP (PE) で 222ng/g、東京湾 (多摩川沖 St. 1) の L-MP (PE) で 588ng/g の高い値が検出されている。

表 8 漂流マイクロプラスチック中の POPs 濃度 (単位 ng/g) (2015 年度)

地点	種類	1 mm-5 mm 径 (L-MP)		0.3 mm-1 mm 径 (S-MP)	
		Σ13PCBs	ΣPBDEs	Σ13PCBs	ΣPBDEs
函館沖	PE	—	—	7.5	37.3
銚子沖	PE	12.7	2.5	9.7	—
銚子沖	PP	8.7	33.3	9.2	—
東京湾 (湾央)	PE	45.8	33.9	30.8	222.8
東京湾 (多摩川沖 St.1)	PE	89.8	588.0	114.0	3.6
東京湾 (多摩川沖 St.1)	PP	61.1	12.6	149.3	2.0
東京湾 (多摩川沖 St.2)	PE	81.5	4.9	113.0	0.0
東京湾 (多摩川沖 St.2)	PP	97.6	38.3	246.9	0.0
東京湾 (小櫃川沖)	PE	12.6	8.4	27.7	0.0
東京湾 (小櫃川沖)	PP	163.5	0.0	68.1	31.0
駿河湾	PE	29.5	30.4	—	—
伊勢湾	PE	101.4	47.0	—	—
四国沖	PE	10.8	6.1	—	—
対馬沖	PE	2.5	2.4	0.0	0.0
対馬沖	PP	0.8	1.0	0.0	75.2

出典：環境省 (<http://www.env.go.jp/press/files/jp/105275.pdf>)。

1.7 POPs 含有マイクロプラスチックの魚介類への影響

POPs 含有マイクロプラスチックを摂食した魚介類に、化学的にどんな影響が出るのかが懸念されている。PCBs と PBDEs の 2 つのケースについて述べる。

① PCBs のケース

魚介類が PCBs に汚染する経路には次の 3 つがある。

- a. PCBs に汚染された海域に棲む魚介類は、海水より PCBs を吸収して汚染する。
- b. PCBs に汚染したプランクトンを小さな魚が食べて汚染し、汚染した小さな魚を大きな魚が食べて汚染する。エサを通じた食物連鎖による汚染経路である。
- c. 魚介類が摂食した PCBs 含有マイクロプラスチックが消化管にとどまっている間に、PCBs がマイクロプラスチックから脱離して消化管に吸収されれば、魚介類は汚染する。

マイクロプラスチックが海水中の PCBs を吸着する海域では、魚介類は既に上記の a. や b. の経路で PCBs に汚染している。その魚介類が PCBs 含有マイクロプラスチックを摂食したことにより PCBs 汚染量がどれくらい増加するかということが問題になる。残念ながら、それに関する定量的データは今のところなく、3 つの経路による汚染の比率がどうなっているかはわかっていない。

それでは、PCBs 汚染海域の魚は、どの程度 PCBs に汚染されているのであろうか。東京湾や大阪湾に棲むスズキなどの PCBs 含有量が継続的にモニタリングされている。

2016 年度東京湾産魚介類の化学物質汚染実態調査によれば、PCBs はいずれの検体からも検出されたが、いずれも厚労省が決めた暫定基準の 3ppm 以下であると報告されている¹¹。過去のデータによれば、『スズキ可食部中の PCBs は、 $0.06 \mu\text{g/g}$ (60ng/g : 0.06ppm) から $0.75 \mu\text{g/g}$ (750ng/g : 0.75ppm) の間で推移しており、1991 年以降は減少したが、2002 年には再び上昇し $0.36 \mu\text{g/g}$ (350ng/g : 0.36ppm) であった』¹²。

なお、表 7 の東京湾と大阪湾の漂着ペレットの PCBs 濃度は $200 \sim 1,000\text{ng/g}$ の範囲である。

¹¹平成28年度東京湾産魚介類の化学物質汚染実態調査（概要）

http://www.metro.tokyo.jp/tosei/hodohappyo/press/2017/08/02/documents/08_03.pdf

¹²東京湾の環境汚染モニタリング（14 報）スズキ中の内分泌攪乱物質の濃度推移について

<http://www.tokyo-eiken.go.jp/files/archive/issue/kenkyunenpo/nenpou66/247-252.pdf>

② PBDEs のケース

ある種の海鳥が PBDEs 含有マイクロプラスチックを摂食することにより、マイクロプラスチック中の PBDEs が消化管から体内（脂肪）に移行することが示された。

魚についてもマイクロプラスチック（MP）中の PBDEs が体内（脂肪）に移行する可能性があるが、証明されていない。MP 中の PBDEs の魚への移行は、MP の形状や、MP 中の PBDEs 濃度や、MP と魚の消化管の PBDEs 吸収性のバランスや、MP の消化管での滞留時間によって決まる。また、魚が PBDEs を吸収した場合の影響もよくわかっていない。

③ 魚介類への影響（まとめ）

PCBsについては、マイクロプラスチックを介した汚染の経路がほかの経路に比べ相対的にどれくらい重要かはまだわかっていない。海洋生物に高密度のPCBs含有マイクロプラスチックを暴露（摂食）させる実験で、海洋生物がいくつかのストレスを受ける結果が報告されているが、自然界で同じことが起こるかどうかはわかっていない。

また、現在のところ、プラスチック粒子あるいはそれに同伴する化学物質が生物学的に濃縮される可能性を支持したり、主張したりする証拠はない¹³。

1.8 (POPs含有)マイクロプラスチックの人への影響

人は魚介類を通じて、(POPs 含有)マイクロプラスチックを摂食する可能性が高い。しかし、プラスチック類は無毒で、また食べても排出されるので問題はない¹⁴。

POPs 含有マイクロプラスチックについても、魚に入っているマイクロプラスチックは魚 1 匹あたり 1～2 個であり、濃度的に POPs の影響は問題にならない。

GESAMPは、『マイクロプラスチックが海洋食品の化学汚染を増加するということはありうるが、現在の観察されたマイクロプラスチックの密度では人間の健康に対するリスクを顕著に高めることを示す証拠はほとんどない』と述べている¹⁵。

¹³ GESAMP リポート No. 90、65 頁 (2015) (参考文献(5))

¹⁴ マイクロプラスチックが入っているのは魚の消化管などの内臓部分であり、ハラワタを取り除いて肉の部分(可食部)だけ食べればマイクロプラスチックを食べないで済む。

¹⁵ GESAMP リポート No. 93、117 頁(2016) (参考文献(6))

1.9 海洋プラスチックのベクター（微生物媒介体）としての働き

海洋プラスチック（マクロプラスチックとマイクロプラスチック）は土着および非土着・外来種のベクター(vector：微生物媒介体)として働くことができる¹⁶。

木材のような天然材料に付着した微生物が、漂流して遠方に輸送されることは知られている。同様に微生物が付着した海洋プラスチックもイカダのように遠方に微生物を輸送する。プラスチックは丈夫で長距離輸送するので、海洋生物の分布が変わる可能性がある。

付着物の例としては、病原性のビブリオ菌（vibrio bacteria）、海洋昆虫の卵、静止期にある数種のクラゲなどがある。

マイクロプラスチックに病原性のビブリオ菌が付着することは例証されている。ビブリオ菌は海水中で生息する細菌で、この菌で汚染された魚介類を生食することで人に感染して腸炎ビブリオ食中毒を起こす。

海洋プラスチックがクラゲの大発生（jellyfish blooms）に寄与しているのではないかといわれる。また、韓国の巨大クラゲ（越前クラゲ）の発生も海洋プラスチックの増加が関与しているのではないかといわれる。広島大学の上 真一教授が研究している。

¹⁶ UNEP リポート、97 頁(2016)（参考文献(8)）、GESAMP リポート No. 93、62 頁(2016)（参考文献(6)）

2 生分解性プラスチックと海洋プラスチックごみ問題

2.1 陸上用の生分解性プラスチック

「生分解性プラスチック (Biodegradable Plastics)」とは、使用後に微生物のはたらきで最終的に二酸化炭素と水にまで分解するプラスチックと世界的に定義されている。

代表的な生分解性プラスチックを表9に示す。PHA、PLA、PGA、PBS、PBSA、PBAT、PETS、PCLである。PHAには、メタボリック (米) のPHBV (3-ヒドロキシ酪酸 (3HB) と3-ヒドロキシ吉草酸 (3HV) の共重合体の構造) と、カネカのPHBH (3-ヒドロキシ酪酸 (3HB) と3-ヒドロキシヘキサン酸 (3HHx) の共重合体の構造) がある。

以上の生分解性プラスチックはすべてポリエステルであり、またPBAT、PETSを除きすべて脂肪族ポリエステルである。微生物の力を借りてエステル結合が加水分解して、生分解性になる。生分解の速度は種類により異なり、PHAなどは室温でも生分解するが、PLAは50℃のコンポストの条件で初めて生分解する。これら生分解性プラスチックはすべて結晶性で結晶融点をもち、また密度は1.0以上なので海水中で沈む。

表9 生分解性プラスチックの一例

略号 (プラスチック名)	メーカーの例	結晶融点	ガラス 転移温度	密度	原料
PHA (ポリヒドロキシアリカノエート)	PHBV メタボリック	144~162℃	~0℃	1.0以上	バイオマス
	PHBH カネカ	100~160℃	na	1.0以上	バイオマス
PLA (ポリ乳酸)	ネーチャーワークス 浙江海正生物材料	170℃	60℃	1.26	バイオマス
PGA (ポリグリコール酸)	クレハ	225℃	40℃	1.5~1.6	石油
PBS (ポリブチレンサクシネート)	三菱化学	115℃	40℃	1.24~1.26	石油 バイオマス
PBSA ポリブチレンサクシネートアジペート (共重合体)	三菱化学	na	na	na	一部バイオマス
PBAT ポリブチレンアジペートテレフタレート (共重合体)	BASF	110~120℃	na	1.25~1.27	一部バイオマス
PETS ポリエチレンテレフタレートサクシネート (共重合体)	DuPont	195℃	na	1.35	一部バイオマス
PCL (ポリカプロラクトン)	na	60℃	マイナス60℃	na	石油

注：バイオマスを原料に使用しているプラスチックは、バイオベースプラスチックと呼ばれる。

出典：ARCレポート (参考文献 (9)) をもとに旭リサーチセンター作成。

なお、PETS（ポリエチレンテレフタレートサクシネート（共重合体））はPET（ポリエチレンテレフタレート）に近い構造であり、生分解性になることが注目される。

日本バイオプラスチック協会は生分解性の基準を満たし、かつ毒性、環境安全性の基準を満たす生分解性プラスチックとそのメーカーを認定し、ポジティブリストに記載している¹⁷。この生分解性の基準の1つにコンポスト系の測定基準（JIS K6953）があり、これは50℃の条件下で微生物の力を借りて生分解する性能を評価する。代表的な生分解性プラスチックであるPLAはこのコンポスト系測定基準に合格して生分解性と認定されている。また、毒性、環境安全の基準の1つに、生分解性プラスチックの生分解中間体の安全性を確認する試験が含まれている。

生分解性プラスチックの国内販売量は、2014年で約1万トンに過ぎない。2014年の国内の熱可塑性プラスチックの販売実績は920万トンなので、生分解性プラスチックは900分の1にしかない。理由はポリエチレンやポリプロピレンなどに比べ、コストが4～5倍すること、機械特性が70～80％程度であること¹⁸、日本ではコンポスト用途が少ないことなどが挙げられる。

2.2 期待される海水中で生分解するプラスチック

(1) 海水中で生分解するプラスチック

天然の素材と同じように海水中で分解してしまう生分解プラスチックは、海洋中で分解しにくい石油系のプラスチックに代わるものとして期待されている。

兼廣春之東京海洋大学名誉教授は、海洋中の生分解性プラスチックについて次のように述べている（参考文献(3)）。『海水中にはさまざまな微生物がいて、その中にプラスチックを分解する微生物がいる。生分解性プラスチックは密度が海水より重く、海中では沈むので、海底で分解するかどうかをテストした。図18は、生分解性プラスチック

¹⁷現在、ポジティブリストに挙がっているプラスチックとそのメーカーは、PLA（ネーチャーワークス、浙江海正生物材料）、PHBH（カネカ）、PGA（クレハ）、PBS（三菱化学）、PBSA（三菱化学）、PBAT（BASF）、PETS（デュボン）である。出典：日本プラスチック協会 百地正憲「生分解性プラスチックの現状と課題」。www.env.go.jp/water/marine_litter/09_MOMOCHI.pdf。

¹⁸兼廣春之東京海洋大学名誉教授（参考文献(3)の②）。

(繊維) を知床の羅臼、富山、沖縄の久米島の3か所で現地の深層水中（水深 300～600m）に浸漬したときの写真である。海底は2～9℃の低温であり、酸素濃度も低く生分解しにくい条件であるが、図18に示すように3種の生分解性プラスチックが分解することがわかった。

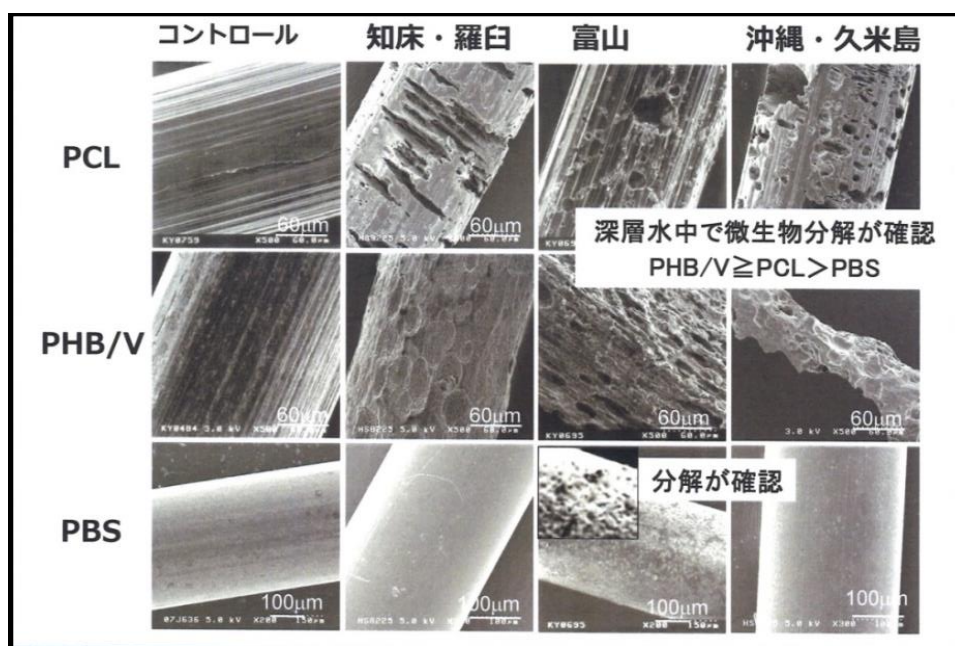


図18 12か月間深層水に浸漬した脂肪族ポリエステル系生分解性繊維のSEM写真

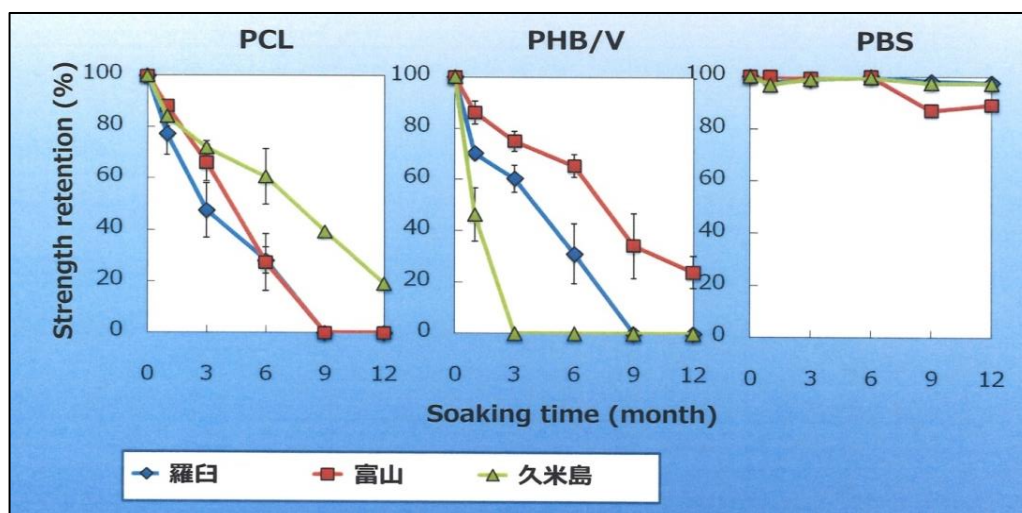


図19 深層水に浸漬した脂肪族ポリエステル系生分解性プラスチックの強度変化

図18と図19の出典：兼廣春之東京海洋大学名誉教授（参考文献（3））

特に、上の2つの繊維（PCLとPHBV（PHB/V））は著しく分解が起こっている。これは、海水中にいる微生物の分解によって起こったものである。

一番下の繊維のPBSはあまり分解していないが、よく見ると少しずつ分解していつているのがわかる。海中で長く使用する場合は向いている。3種類ともポリエステルの一種の脂肪族ポリエステルという素材の繊維である。同じポリエステルでも繊維の種類によって海水中での分解の速さや強度変化（図19）が違ってくる。分解の速さを制御できれば、実用的な材料として利用することが可能となる。

また、異なる海域の海水からプラスチックを分解する微生物を単離し、その性質を調べている。特に、最近では表層の海水からだけでなく、5,000～7,000mの深海（1～3℃、50～70MP）にいるプラスチック分解微生物についても研究を行っており、これまで報告されていない新しい深海由来のプラスチック分解微生物の単離にも成功している¹⁹。

JAMSTEC（国立研究開発法人海洋研究開発機構）は兼廣教授と共同で、日本海溝や千島海溝の水深5,000～7,000mの泥よりポリカプロラクトン（PCL）などの生分解性プラスチックを分解する新規な微生物を単離し、さらに実験室レベルで生分解性の評価を行うことができる「加圧連続培養システム」を新たに開発したことを発表した²⁰。

（2） ISO規格

ISOは、海洋環境でのプラスチックの生分解性（最終的に二酸化炭素と水に分解）の評価方法を検討中である。現在、暫定試験法（ISOの国際規格案（DIS））レベルであり、正式な評価方法（ISO）が決定するには2～3年かかる。

検討中の暫定試験法には、ISO/TC61（プラスチック）の「海水中の生分解性度測定方法」のなかにISO/DIS18830（酸素消費）とISO/DIS19679（二酸化炭素発生）の2つがある。

ISOの試験方法がまだ固まらないことが示すように、実用的な海洋用生分解性プラスチックの本格的な評価と開発はこれからである。

¹⁹ 兼廣春之、関口峻允 日本家政学会誌 Vol. 61 No. 6 381～385（2010）および脚注 23 の文献

²⁰ https://www.jamstec.go.jp/j/about/patent/innovation/vol_06/pdf/leaflet.pdf

2.3 生分解性プラスチックはプラスチック海洋汚染の軽減に有効か

(1) 国連機関のUNEP（国連環境計画）の発表とそれについての議論

2015年11月に開かれた海の環境に関するGPA²¹の20回記念大会において、UNEPレポート“Biodegradable Plastics & Marine Litter（生分解性プラスチックと海洋のごみ）”（参考文献（7））が発表された。その際に、UNEPより次のような見解が出された²²。『“Biodegradable（生分解性）”と印字された製品を幅広く採用しても、海洋に排出されるプラスチックの量を顕著に減らすことや、海洋環境に対してプラスチックが引き起こす物理的および化学的リスクを顕著に軽減することにはならないであろう。ある種の生分解性プラスチックは分解するために商業的コンポスターを必要とし、かつ50℃以上の温度に長く保持しなければならないことは、海洋中で生分解性プラスチックが完全に分解する条件はあったとしても稀であろう。限られた証拠であるが、製品に「生分解性」の表示をすると、一般の人のプラスチックごみを捨てる傾向が増加する』。この内容は日本の新聞で報道された。

UNEPが言う“Biodegradable（生分解性）”と印字された製品は、PLA（ポリ乳酸）製であろう。生分解性プラスチックのなかで、PLAの生産量が一番多くしかもコストが安い。

既存のプラスチックをPLAで代替すれば、海洋プラスチックごみも生分解して消失してしまうと考えていたところ、50℃以上の温度でなければ分解しないことを知りかなり否定的な見解になったものと思われる。

しかし、PLAを否定するあまり、生分解性プラスチック全体を否定すると取られかねない発言は妥当でない。前記のように、兼廣名誉教授は低温の深海中でもPHBV、PCL、PBSは生分解性することを明らかにしている（なお、前述のUNEPレポートの“Biodegradable Plastics & Marine Litter”には、関口・兼廣らの文献がきちんと

²¹ UNEP Global Programme of Action (UNEP/GPA) の目的の1つは、陸上活動が原因で引き起こされる海洋環境破壊の防止。

²² <http://www.unep.org/asiapacific/biodegradable-plastics-are-not-answer-reducing-marine-litter-says-un>

記載されている²³⁾。生分解性プラスチックの有用性と可能性を評価し、海洋プラスチックごみ軽減のために活用すべきであろう。

(2) 生分解性プラスチックの可能性(使い捨て用途と漁具用途)

生分解性プラスチックの可能性を考える上で、国によって廃棄物処理方法の状況が異なることを考慮しなければならない。特に、固形廃棄物処理の埋立てと焼却の比率がどうなっているかが重要なポイントで、それにより生分解性プラスチックのニーズは変わる。埋立てが多いところでは、各種生分解性プラスチックのニーズが高いであろう。特に、コンポストが盛んな国はPLA（ポリ乳酸）のニーズが高いだろう。

一方、埋立てがほとんど無く焼却ばかりの国では、生分解性プラスチックといえどもほとんどは焼却処分され、生分解性は生かされない場合が多い。ただし、生分解性プラスチックは、捨てられて海洋プラスチックごみになったときには、海中で生分解して消失するので好都合である。この場合、海水中で速やかに生分解することが望ましいが、木材などの生分解スピードを考えれば、数年かけて生分解するのも十分である。

この際問題なのは、海洋プラスチックごみだけが生分解すれば十分なのだが、そういうわけにはいかないので、もとのプラスチック製品全体を生分解性にしなければならないことである。プラスチック製品のうちの3%が海洋プラスチックごみになると仮定すると、3%のために残りの97%も生分解性プラスチックにする必要がある。現在のところ生分解性プラスチックは、既存のポリエチレンやポリプロピレンより数倍高いので全部を置き換えるのは経済的に大きな負担になる。むしろ3%のごみを減らす努力をすべきという意見が当然出てくる。

安価な生分解性プラスチックが出現しない限り、安価な使い捨て製品（レジ袋、ショッピングバッグ、キャリーバッグ、そのほかの容器包装）に生分解性プラスチックを大幅に採用することは難しいと考えられる。

²³⁾T.Sekiguch, H.Kanehiro et al., " Biodegradation of aliphatic polyesters soaked in deep seawaters and isolation of poly(ε-caprolactone)-degrading bacteria." Polymer Degradation and Stability 96(7): 1397-1403(2011).

海外では“Biodegradable”表示のプラスチックはグリーンな材料としてプレミアム価格で販売されるだろうが、量的には限られるだろう。なお、現在は、グリーンな材料として、再生可能資源（バイオマス）を原料とする“バイオベースプラスチック”が普及してきている（なお、PLAやPHAは生分解性プラスチックであり、かつバイオベースプラスチックである）。

そう考えていくと、ごみになったときだけに生分解性が生かされるのではなく、用途全体が生分解性を必要とするところに生分解性プラスチックを使うべきである。その1つが、漁具の用途である。漁具が生分解性プラスチックを必要とする理由は、次の4点である。

- ① 漁具は悪天候・自然災害、操業事故・トラブルで回収できない場合がある。回収されない漁具は全て海洋プラスチックごみになる。投棄された漁具も同様である。
- ② 漁具の劣化により、使用中にマイクロプラスチックが海中で継続的に発生する。特に、養殖では魚介類は発生したマイクロプラスチックに暴露されやすい。
- ③ ゴーストフィッシングを防止するために、一定時間経つと生分解する必要がある。
- ④ ほかのプラスチックとブレンドしてリサイクルする可能性は少ない。

韓国では漁具に生分解性プラスチックを試験してよい結果が出ている。問題はコストが高いことで、採用するためには経済的インセンティブが必要という²⁴。日本でも釣り糸、漁網、かにかご、人工産卵藻などの漁具の開発が行われているが、実用化はあまり進んでいない。

漁具用の生分解性プラスチックは、海中で使用しているときは機械的特性を維持し、しかも用済み後は生分解するという難しい要求を満たさなければならない。この課題をクリアするための研究開発を進めるべきである。

以上のように、生分解性プラスチックは海洋プラスチック問題の全体を解決するような材料ではないが、用途によっては有効な解決手段になり得る。

²⁴ UNEP リポート “Biodegradable Plastics & Marine Litter ”、27 頁(2015)(参考文献 (7))。

3 海洋プラスチック問題と地球温暖化問題の比較

表 10 に海洋プラスチック問題と地球温暖化問題の比較をまとめた。

表 10 海洋プラスチック問題と地球温暖化問題の比較

	海洋プラスチック問題 (海洋プラスチックごみと マイクロプラスチック (MP))	地球温暖化問題 (CO ₂ などの温室効果ガスによる 地球温暖化)
問題の性格	地球環境問題 地域問題でもある (各海洋での取り組み)	地球環境問題
問題に対する 社会の認識度	認識度低い。特にマイクロプラスチック についてはよく知られていない	認識度高い
発生源	①陸上由来のプラスチック廃棄物 (～80%) ②海洋由来のプラスチック廃棄物 (～20%) * プラスチック廃棄物が紫外線と物理的な力により細片化し、マイクロプラスチックを生成	①化石燃料の燃焼 92%以上 自動車・航空機、冷暖房、発電 ②石油化学原料 8%以下 * ①と②がCO ₂ の発生源となる
発生原因	①管理不十分や不法投棄 (認識・モラル) ②固形廃棄物や廃水の不十分な処理設備 ③廃棄物の高い回収・処理コスト	①エネルギー使用: 生産・輸送などの 経済活動、オフィス活動、日常生活 ②石油化学原料
発生量の 傾向	①世界的にプラスチック消費量増加と ともに、プラスチックごみは増加 今後も成り行きでは増加の見込み ②毎年のごみ発生量だけでなく、 ごみの蓄積量が問題になる	①世界的にエネルギー使用量増加と ともに、CO ₂ 発生量は増加 今後も成り行きでは増加の見込み ②毎年のCO ₂ 発生量だけでなく、 CO ₂ の蓄積量が問題になる
影響	①海岸の美観を損なう ②海洋生物の生態系と漁業への影響 ③PCBsなどに汚染されたマイクロプラスチックを 魚介類が摂食 (誤飲) することの影響と 食物連鎖による人間の健康への影響	①地球温暖化→ 厳しい気候変動 ↓ 自然災害、生態系への影響 ↓ 人々の生活と農業・漁業などへの影響
原因物質 (MPとCO ₂) の定量	①世界共通の測定法なし (共通化取組中) ②地域的密度分布や短時間での密度変動あり (世界的に高密度のホットスポットあり) ③定量的把握ができていない ④シミュレーションが進んでいない	①温度、CO ₂ 濃度の測定法は確立済み ②CO ₂ 濃度の地域分布、短時間での 変動はない ③定量的把握がされている ④シミュレーションが進んでいる
対策	①認識を高め、モラルアップすることにより プラスチック廃棄物の発生源を断つ ・マイクロビーズの化粧品用途使用禁止 ・プラスチック廃棄物の処理体制の確立 ・生分解性プラスチック製漁具の開発 ②河川、沿岸、海洋のプラスチックごみの除去 * 海洋中のマイクロプラスチックの回収は困難	①省エネ、省資源の推進と 再生可能なエネルギー・資源への転換 (バイオマス、太陽電池、風力) ②CCS: 火力発電等で発生する高濃度の CO ₂ の回収・貯留 (開発中) * 大気中の低濃度CO ₂ の回収は困難
企業の取り組み	少ない	上記対策に産業界、企業が主体的な取り組み
国内の取り組み	①環境省を中心とする関連省庁、 地方自治体、NGO、ボランティア団体	①環境省を中心とする関連省庁、 産業界、企業
国際的取り組み	①a. 国連 (UNEP) が積極的取組 b. 2015年G7エルマウサミットの首脳宣言 c. 2016年1月のダボス会議で報告書 ②GESAMP (海洋保護科学専門家グループ)	①COP21においてパリ協定 (2016年12月) 採択 (産業革命以来の温度上昇を2℃ 以下に抑える) ②IPPC (気候変動に関する政府間パネル)

注: 黄色地は顕著な相違点。

出典: 各種資料より旭リサーチセンターが作成。

この2つの問題はいずれも地球環境問題であり、問題解決には国際的協力が必要である点は共通している。ただし、その内容について詳細に比較すると、両問題は異なっている点が多いことがわかる。

まず何よりも地球温暖化問題に比べ、プラスチック海洋問題の社会の認識度ははるかに低く、汚染が進んでいる割に危機感は希薄である。今後、地球温暖化問題並に認知してもらうために、子供や学生の教育や一般の人の啓発活動が重要である。

両問題はともにグローバルな地球環境問題であるが、海洋プラスチック問題は各海域（太平洋、大西洋、日本海、地中海など）での取組みも重要である。

地球温暖化問題は温室効果ガス（二酸化炭素（CO₂）など）が原因である。産業活動と人々の生活にエネルギーは必須のものであるが、エネルギーを得るために石油などの化石燃料を燃焼するとCO₂が発生する。

一方、海洋プラスチック問題はプラスチック廃棄物が原因であり、プラスチックごみの不適切な処理や不法投棄など発生源を断てばなくなるはずである。固形廃棄物処理と廃水処理を適切に行う設備と体制を整備し、社会と人々のモラルが高くなれば問題は基本的に解決する。ただし、固形廃棄物処理と廃水処理の設備と体制を整備するには、多額の投資を必要とする。新興国や発展途上国でこれをいかに早く実現するかが世界的な課題である。

エネルギーの使用量は過去急増し、それに比例してCO₂の発生量は増加した。今後も成り行きでは、エネルギー消費は増加し、CO₂の排出量も増加すると見込まれる。同様に、プラスチックの生産量は過去50年で急激に増加し、それに比例して海洋ごみは増加してきた。プラスチックごみの主体であるポリエチレンの生産量は、今後も年2～3%の成長が見込まれている。

大気中のCO₂は消滅することはないので、蓄積されていく。プラスチックは耐久性のある材料で容易に分解しないので、海洋で蓄積されていく。毎年の発生量だけでなく蓄積量が重要な点で、両問題は共通しており、過去の負の遺産を引き継がざるを得ない。

地球温暖化問題は厳しい気候変動をもたらすので、生態系に影響を与え、また世界中の人々の生活や農業・水産業を脅かすといわれる。一方、海洋プラスチック問題は当

初は海岸に漂着する海洋プラスチックごみが景観を壊すことからその除去に手間と費用がかかるという問題から、ALDFG(放棄された漁具など)による絡まりやゴーストフィッシングによる海洋生物のトラップ問題や、汚染されたマイクロプラスチックによる食物連鎖による人間の健康への懸念にまで発展した。

また、CO₂濃度の測定は確立され、CO₂濃度の地域分布や短時間の濃度変化は基本的に無い。また、温度の精密測定法も確立されている。

一方、マイクロプラスチックについては世界標準の測定方法は確立されていない。世界のデータを比較できるように、測定法を調和させ、統一する取組みが進められている。また、海洋中のマイクロプラスチック密度は海域、海の深さ(表層、海中(海柱)、海底)で異なり、場所による密度分布がある(ホットスポットと呼ばれる高密度地点もある)。海流や海水の上下移動により密度は時間的に変動する。場所(空間)と時間の4次元分布を知るためには高度の技術と多くの労力を必要なため、定量的なデータが得られていない。そのため信頼性のあるシミュレーションをすることが難しい。一方、地球温暖化問題については、IPPC(気候変動に関する政府間パネル)がシミュレーションを駆使し、将来のCO₂濃度と気温を予測している。

地球温暖化問題の対策として、化石燃料の使用量をできるだけ減らすべく省エネ、省資源化が徹底して進められており、また本質的解決に向けて再生可能エネルギー(太陽光発電、風力発電、バイオマス)の開発と転換が進んでいる。また、対症療法として、火力発電で発生する高濃度CO₂を分離・濃縮して地中に貯留するCCS(CO₂の回収と貯留)技術の開発が行われている。

これらの開発に世界中の産業や企業が取り組んでいる。なお、大気中拡散した希薄なCO₂を分離することは経済的に不可能である。

一方、海洋プラスチック問題では前述のように廃棄プラスチックの発生を断つことが本質的な対策である。また、固形廃棄物の焼却設備や下水処理設備の整備が遅れている新興国、発展途上国に対する先進国の支援活動が重要となる。対症療法としては、海岸や河原のプラスチックごみを除去することである。プラスチックごみはマイクロプラスチックの発生源であるのでその除去は有効である。また、漁具は回収できないときや

劣化すると、直接海洋を汚染する。海洋中で生分解する生分解性プラスチックはその解決策になり得る。

プラスチックごみ（マクロプラスチック）は回収できるが、マイクロプラスチックはプランクトンとの分離が難しく、経済的に分離・回収すること難しい。また、現在のところ海洋プラスチック問題への産業界や企業の参画は少ないが、今後、問題解決に向けた産業界や企業の取組みが期待される。

両問題に関する日本政府の取組みは、環境省を中心に関係各省との連携で進められてきた。海洋プラスチック問題については、地方自治体が深くかかわっていることや海をきれいにするために活動しているNGOやボランティア団体の貢献が大きいのが特徴である。

国際的には、地球温暖化問題は国連気候変動枠組条約締約国会議(COP)で、1995年(COP1)以来2017年(COP22)まで22年間にわたって国際的協調が図られてきた。2016年12月に開かれたCOP21ではパリ協定（産業革命以来の温度上昇を2℃以下に抑える）が結ばれた。この間、IPPCが中心となって技術的検討とシミュレーションを行ってきた。

一方、海洋プラスチック問題はようやく2014年以降に国連やG7首脳会談で本格的に取り上げられ、具体的対策が発表された。国連機関のUNEPや関連機関のGESAMP(海洋保護科学専門家グループ)が詳細な調査報告書（アセスメント）を作成し、この問題を解決する為のRecommendation（推奨・勧告）をそれぞれ発表している。既に、マイクロビーズの洗い流し化粧品への使用が禁止、ないし規制された。

今後、GESAMPがIPPCと同じような役割を果たすものと考えられる。

海洋プラスチック問題は、その源のプラスチック廃棄物を出さないことを徹底することにより問題を大幅に改善できることが救いである。そのために、海洋プラスチック問題についてもっと人々の関心を高めることがまず必要である。

おわりに

マイクロプラスチックの問題は、調査してみて予想以上に厄介な問題であることが分かった。1つはマイクロプラスチックが細かくて経済的に回収できないことと、もう1つはPOPsなどの汚染物質のキャリアとして働くことである。

幸いなことに、現在のところは魚介類にも人の健康にも影響は出ていない。ただし、マイクロプラスチックの量が年々増加していくことを考えると、将来新たな影響が顕在化する恐れがある。また、マイクロ(ナノ)プラスチックの挙動とそれによる海洋生物への影響についてはわかっていないことが多く、科学的解明が待たれる。

したがって、マイクロ(ナノ)プラスチックの問題は予防原則 (precautionary principle)²⁵に則り対策を取っていく必要がある。

最後に、GESAMPの2つの推奨 (Recommendation) を紹介する (参考文献 (5))。

(1) GESAMP の政策決定に役立つ推奨 (Recommendation)

① 海洋に排出されるプラスチックとマイクロプラスチックの発生源と種類をはっきりさせること。② 使用済みプラスチックを廃棄物ではなくて貴重な資源として、使えるまで利用すること。③ 海洋環境におけるプラスチックとマイクロプラスチックのインパクトについてよりよく知ること。④ 将来、海洋中のプラスチックのインパクトについてアセスメントをするときは、ナノプラスチックを含めること。⑤ マイクロプラスチックが微生物のベクター (媒介体) になる可能性をアセスメントすること。⑥ 深海で摂食したマイクロプラスチックによって引き起こされる化学的リスクをアセスメントすること。

(2) GESAMPの将来の研究についての推奨 (Recommendation)

(a) 「第3章 海洋におけるマイクロプラスチックの発生源と運命」に関するもの。

① 少なくともPE、PP、PSについて、海の環境下で崩壊・細片化することについてのデ

²⁵化学物質や遺伝子組換えなどの新技術などに対して、人の健康や環境に重大かつ不可逆的な影響を及ぼす恐れがある場合、科学的に因果関係が十分証明されない状況でも、規制措置を可能にする制度や考え方のこと (出典: ウィキペディア)。

ータを収集すること。② マイクロプラスチックの吸着現象に与える気候の影響を調べること。③ 海の表層、沈積物、生物体をサンプリングする方法を改良し、認証できるような方法にすること。④ 世界中のデータが互いに比較できるように測定方法や測定項目をハーモナイズすること。⑤ 特定の海洋域で、時間と空間のトレンドがとれるようなサンプリング戦略をつくること。⑥ 深海沈積物のサンプリングを行うこと。⑦ 海洋生物体内でのナノプラスチックの挙動を調べること。⑧ 粒子特性の変動、3D循環、プラスチックとマイクロプラスチックの発生源を考慮した現実的な輸送モデルを開発すること。

(b) 「第4章 マイクロプラスチックの海洋生物に与える影響」に関するもの。

① 自然界でナノプラスチックが細胞膜を通過して、細胞に損傷を与える程度を調べる。この際、医学と製薬工業の知見と熟練技術を利用すること。② 添加剤化合物が消化管を通過する度合いを調べ、生物の個体レベルおよび集団レベルの有害性を調べる。③ 吸着化合物について②と同様な調査をすること。④ 食事を通じたマイクロプラスチックの人間の健康に与える影響をアセスメントすること。⑤ マイクロプラスチックが病原菌を含め、非土着種を輸送するベクターとして働く可能性を調べる。⑥ 放射性標識化合物（プラスチック、添加剤化合物、吸着化合物）を使って、異なる条件下でそれらの化合物がどう輸送されるかを明確にすること。

謝辞

本レポート作成に当たり、図表などの転載を許可していただいたUNEP(国連環境計画)、兼廣春之東京海洋大学名誉教授、高田秀重東京農工大学教授に感謝します。

付属資料 海洋生物をマイクロプラスチックに暴露した実験室実験の一例

種類 (分類)	慣用名	ポリマー (粒子)	暴露した粒 子サイズ	暴露濃度	暴露機関	粒子の 評価項目	影響	引用文献
Scenedesmus spp. (Phylum Chlorophyta)	なし (緑もう)	PS	20nm	1.6-40mg per mL	2時間	細胞	吸収、ROS (活性酸素中間体) 増加、 光合成阻害、クロロフィル濃度減少	Bhattacharya et al., 2010
Tigriopus japonicus (Phylum Arthropoda)	Copepod (動物ブラ ンクトン (カイアシ類))	PS	50nm	9.1X1011個 per mL	24時間	排泄物	摂食、排泄、死亡率、 繁殖率の低下	Lee et al., 2013
		PS	0.5μm	9.1X108個 per mL	24時間	排泄物	摂食、排泄、死亡率、 繁殖率の低下	
		PS	6μm	5.25X105個 per mL	24時間	排泄物	摂食、排泄、死亡率、 繁殖率の低下	
Artemia franciscana (Phylum Arthropoda)	Brine shrimp	PS	40nm と 50nm	5-100μg per mL	48時間	消化管	摂食、死亡率変化なし、運動性に影響が ある可能性、排泄減少あり	Bergami et al., 2015
Oryzias latipes (淡水魚) (Phylum Chordata)	Japanese medaka (メダカ)	LDPE	<0.5mm	エサの10% として 混ぜる	1~2か月	消化管	肝毒性、病理、肝臓ストレス	Rochman et al., 2013a
							遺伝子発現変化、オスにゴジエン規制 の減少とメスにゴジエンとゴジエン の減少 (下線は卵膜バリア質前駆体)	Rochman et al., 2014a
Mytilus edulis (Phylum Mollusca)	Blue mussel (ムール貝)	PS	30nm	0.1、0.2、 0.3mg per mL	8時間	消化管	摂食、疑似排泄、ち過摂食能力の減少	Wegner et al., 2012
Mytilus galloprovincialis (Phylum Mollusca)	Medi- terranean mussel	PS	3μm、 9.6μm	0.51mg per mL	12時間	消化管、 リンパ系	摂食、消化管に滞留、リンパ系への 移動	Browne et al., 2008
		HDPE	0~80μm	2.5mg per mL	<96時間	消化管、 リンパ系	摂食、消化管に滞留、リンパ系への 移動、免疫応答	Von Moos (2012) Kohler (2010)
		PS	50nm	1、5、50μg per mL	—	血球	血球だけ暴露、細胞毒性の兆候	Canseil et al., 2015
Crassostrea gigas (Phylum Mollusca)	Pacific oyster	PS	2μm 6μm	1800個/mL 200個/mL	2か月	消化管	ち過と消化の増加、卵子・精子の品質 低下、MP暴露の親は子育てが遅くなる	Sussarellu et al., 2014
		U-PVC	130μm	重量比 0~5%	48時間、 4週間	消化管	摂食、給餌の減少、食細胞増進、 使用できるエネルギー保存量の減少、 脂質保存量の減少	Wright et al., 2013b
Arenicola marina (Phylum Annelida)	Lugworm (ゴカイ)	PVC	230μm	1,500gの沈積物	10日	消化管	摂食、酸化ストレス	Browne et al., 2013
		HDPE、 PVA、PA	<5mm	沈積物の 0.02、0.2、2%	31日	消化管	沈積物中の濃度がゴカイの代謝速度に 顕著な影響を与える (mpの上昇)	Green et al., 2015
Paracentrotus lividus (Phylum Echinodermata)	Sea urchin (ウニ)	PS	40nm	<25μg per mL	48時間	消化管	蓄積と胚毒性	Della Torre et et 2014

出典: UNEP リポート "Marine plastic debris and microplastics" 2016(参考資料(8))のANNEX VIより旭リサーチセンター作成。

参考文献

- (1) 環境省「平成27年度海洋ごみ調査の結果について」 2017年3月23日
<http://www.env.go.jp/press/103845.html>
<http://www.env.go.jp/press/files/jp/105274.pdf> (調査結果の概要)
- (2) 海洋ゴミとマイクロプラスチックに関する環境省の取組 環境省 早水輝好 (海ごみシンポジウム 2016. 1. 23-24)
www.env.go.jp/water/marine_litter/00_MOE.pdf
- (3) 兼廣春之東京海洋大学名誉教授
- ① プラスチックによる海洋汚染 大妻女子大学 兼廣春之 東京都環境局シンポジウム「海ごみ問題を知っていますか」 2015年11月6日
https://www.kankyo.metro.tokyo.jp/resource/general_waste/attachement/01_Prof.KANEHIROfromOTSUMA Women's University.pdf
- ② プラスチック循環利用協会講演会 (2014年9月2日講演)
プラスチックによる海洋環境汚染 兼廣春之大妻女子大学教授
<https://www.pwmi.or.jp/public/new/201501/index.html>
- ③ 洗顔料や歯磨きに含まれるマイクロプラスチック問題 大妻女子大学 兼廣春之 (海ごみシンポジウム 2016. 1. 23-24)
http://www.env.go.jp/water/marine_litter/08_HaruyukiKANEHIRO.pdf
www.env.go.jp/water/marine_litter/00_MOE.pdf
- (4) 高田秀重東京農工大学教授
マイクロプラスチックって何だ? 東京農工大学農学部環境資源科 高田秀重
<https://web.tuat.ac.jp/~gaia/item/%E3%83%9E%E3%82%A4%E3%82%AF%E3%83%AD%E3%83%97%E3%83%A9%E3%82%B9%E3%83%81%E3%83%83%E3%82%AF%E3%81%A3%E3%81%A6%E4%BD%95%E3%81%A0.pdf>
- (5) 2015年版 GESAMP Reports and Studies No. 90, SOURCES, FATE AND EFFECTS OF MICROPLASTICS IN THE MARINE ENVIRONMENT: A GLOBAL ASSESSMENT

http://www.gesamp.org/data/gesamp/files/media/Publications/Reports_and_studies_90/gallery_2230/object_2500_large.pdf

- (6) 2016年版 GESAMP Reports and Studies No.93 SOURCES, FATE AND EFFECTS OF MICROPLASTICS IN THE MARINE ENVIRONMENT: PART 2 OF A GLOBAL ASSESSMENT

http://www.gesamp.org/data/gesamp/files/file_element/0c50c023936f7ffd16506be330b43c56/rs93e.pdf

- (7) UNEP(2015), Biodegradable Plastics & Marine Litter

[https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/7468/-](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/7468/-Biodegradable_Plastics_and_Marine_Litter_Misconceptions,_concerns_and_impacts_on_marine_environments-2015BiodegradablePlasticsAndMarineLitter.pdf.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

[Biodegradable_Plastics_and_Marine_Litter_Misconceptions,_concerns_and_impacts_on_marine_environments-](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/7468/-Biodegradable_Plastics_and_Marine_Litter_Misconceptions,_concerns_and_impacts_on_marine_environments-2015BiodegradablePlasticsAndMarineLitter.pdf.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

[2015BiodegradablePlasticsAndMarineLitter.pdf.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/7468/-Biodegradable_Plastics_and_Marine_Litter_Misconceptions,_concerns_and_impacts_on_marine_environments-2015BiodegradablePlasticsAndMarineLitter.pdf.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

- (8) UNEP (2016). Marine plastic debris and microplastics - Global lessons and research to inspire action and guide policy change.

<https://wedocs.unep.org/rest/bitstreams/11700/retrieve>

- (9) ARCレポート バイオマス化学 府川伊三郎 (2014年9月)

<https://www.asahi-kasei.co.jp/arc/service/pdf/978.pdf>

- (10) Wittcoff, Reuben, Plotkin『工業有機化学』(上)、(下) 田島慶三、府川伊三郎訳、東京化学同人 (2015、2016)

- (11) 磯辺篤彦九州大学教授

- ① Atsuhiko Isobe, Kaori Uchiyama-Matsumoto, Keiichi Uchida, Tadashi Tokai, Microplastics in the Southern Ocean, MARINE POLLUTION BULLETIN, 114, 1, 623-626, 2017.01.

- ② Atsuhiko Isobe, Keiichi Uchida, Tadashi Tokai, Shinsuke Iwasaki, East Asian seas: A hot spot of pelagic microplastics, MARINE POLLUTION BULLETIN, 101, 2, 618-623, 2015.12

<本レポートのキーワード>

マイクロプラスチック、ナノプラスチック、海洋プラスチックごみ問題、
生分解性プラスチック、POPs、SDG14、ポリエチレンの光崩壊、食物連鎖

(注) 本レポートは、ARC のホームページ(<https://www.asahi-kasei.co.jp/arc/>) から
検索できます。

このレポートの担当

シニアリサーチャー 府川 伊三郎

お問い合わせ先 03-3296-5056

E-mail fukawa.id@om.asahi-kasei.co.jp