

海洋プラスチックごみと マイクロプラスチック（上）

海洋ごみの過半がプラスチックであり、それが崩壊・細片化してできたマイクロプラスチックが海洋に蓄積し、サイズが小さいのでプランクトンや魚介類が摂食（誤飲）することから世界的な問題に発展している。その対策の一つとして、プラスチック製マイクロビーズを化粧品に使用することは世界的に禁止され始めた。

2017年 11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

(上)のまとめ

- ◆サイズの大きいプラスチックごみ（レジ袋、ボトルなどの成形品：マクロプラスチック）とマイクロプラスチックの海洋汚染が深刻になっている。マイクロプラスチックは、プランクトンや魚介類が摂食（誤飲）するので問題が大きい。マイクロプラスチックには、ペレットやビーズが海に流れ込む一次的マイクロプラスチックとマクロプラスチックが紫外線と物理的な力によって崩壊・細片化してできる二次的マイクロプラスチックがある。 (p. 1～5)
- ◆世界で毎年800万トンを超えるプラスチックごみが海洋へ流出し、その半分以上がアジアである。発生源は陸上由来のものが、海上に直接投棄されるものより多い。日本では環境省が漂着ごみ、漂流ごみ、海底ごみを定期的に測定している。 (p. 6～14)
- ◆海洋プラスチックごみの発生源を分野別に解析し、消費者生活、観光・レジャー、漁業が3大重要発生源と推定した。海洋プラスチックごみを軽減するための方策として、3R（Reduce、Reuse、Recycle）と廃棄物処理方法の改善が求められている。 (p. 15～28)
- ◆化粧品用研磨剤として使用されているプラスチック製のマイクロビーズは、洗い流しにより下水とともに海に流れ込む。最近、米国と英国はこの用途に使用することを法律で禁止し、欧州と日本の業界は自主規制することになった。 (p. 29～33)
- ◆マイクロビーズはブラスト加工、塗料、光拡散剤にも使用されている。懸濁重合によりポリスチレンやアクリル樹脂ビーズをつくることができる。PEビーズはポリマーの後加工でつくられる。 (p. 34～38)
- ◆海洋プラスチックごみの多くは、海に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、海中で沈むポリ塩化ビニル、ポリエステル、ポリアミドである。これらポリマーの特性と海洋環境下での挙動の関係を明らかにした。 (p. 39～41)
- ◆海洋環境下の光分解によるポリエチレンの崩壊・細片化のプロセスについてモデル計算を行い、ポリマーの分子量低下、官能基の生成、サイズの細片化が同時に起こることを明らかにした。 (p. 42～45)
- ◆海洋プラスチック問題は、2014年から国連で、2015年からG7サミットで本格的に取り上げられ、問題の緊急度から具体的行動計画が実施されている。 (p. 46～53)

(下)の要旨

- ◆マイクロプラスチックは、プランクトンや魚介類が摂食（誤飲）するので、海洋生物に対する生態的影響が問題になる。また、マイクロプラスチックに含まれる難燃剤やマイクロプラスチックが海水中で吸着した難分解性有機汚染物質（POPs：PCBなど）の化学的影響が懸念される。マイクロプラスチックは、プランクトンなどとの分離が難しく、経済的に回収する方法はない。
- ◆マイクロプラスチックの海洋濃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、世界的にも高濃度のホットスポットが観測された。
- ◆100種以上の海洋生物（鳥類、魚介類、プランクトンなど）の体内にマイクロプラスチックが存在することが報告されている。特に、海鳥はマイクロプラスチックの摂食比率が高く、個体当たり数個～20個のマイクロプラスチックを摂取するので影響が大きい。食用の魚類もかなりの比率でマイクロプラスチックを摂食しているが、この場合は1～2個/個体程度である。また、貝類はろ過摂食するのでファイバーなどのマイクロプラスチックを多く含んでいる。
- ◆実験室研究で、5cm以下の魚、二枚貝、ゴカイにマイクロプラスチックを摂食させると生物的・物理的影響が出ることが明らかになった。また、数十nmのナノプラスチックが海洋生物の細胞膜を通過するので、重大な影響を与える可能性が示唆された。
- ◆POPsに高度に汚染されたペレットが東京湾、相模湾、大阪湾で観測されたが、海外の大都市近郊の汚染ペレットのPOPs濃度とほぼ同じレベルである。
- ◆マイクロプラスチックは土着種、非土着（外来）種のベクター（病原媒介体）として働く可能性が指摘されている。
- ◆海洋中で二酸化炭素と水に分解する生分解性ポリマーは、マイクロプラスチック減少に有効と期待される。一方で、生分解性プラスチックの有効性に否定的な意見もあり、論点を整理し議論した。
- ◆海洋プラスチック問題と同じ地球環境問題である地球温暖化問題と比較し、共通点と相違点を明らかにした。相違点としては、マイクロプラスチック問題についての社会認識度が低いことが挙げられる。教育や啓発により認識を高め、プラスチック廃棄物発生源を断つべくモラルを向上させることが重要である。

目 次

はじめに	1
用語・略語集	2
1 海洋プラスチックごみ（ <u>マクロ</u> プラスチック）とマイクロプラスチック	4
1.1 <u>マクロ</u> プラスチックとマイクロプラスチックの関係	4
1.2 世界の海洋プラスチックごみの発生状況とホットスポット	6
1.3 日本周辺の海洋プラスチックごみの発生状況——環境省の測定調査	9
2 海のプラスチックごみの発生源と軽減策	15
2.1 プラスチック（ポリマー）の生産量	15
2.2 海のプラスチックごみの発生源とプラスチック素材の関係	17
2.3 各発生源と発生軽減策	19
2.4 プラスチックごみ軽減のための 3R 推進と廃棄物処理法の改善	23
3 化粧用マイクロビーズの使用禁止とメーカーの対応	29
4 マイクロビーズの用途とつくり方	34
4.1 マイクロビーズの用途	34
4.2 マイクロビーズなどのつくり方	36
5 海的环境とプラスチックの光分解反応	39
5.1 海的环境とプラスチックごみの挙動	39
5.2 プラスチックの光分解反応とマイクロプラスチックの運命	42
6 海洋プラスチック問題に対する国際的取組み	46
6.1 国連、G7 首脳会議（サミット）などの取組み	46
6.2 法的規制	51
おわりに	53
参考文献	54

はじめに

本リポート(上、下)は、近年、重要な地球環境問題として国際的に取り上げられている「海洋プラスチックごみとマイクロプラスチック」に関する報告である。海岸に漂着するプラスチックごみやその写真はよく見るところであるが、そのプラスチックごみが紫外線と物理的な力によって崩壊してマイクロプラスチックになること、そしてそれを魚介類が摂食することにより食物連鎖により人間も摂食することになることはあまり知られていない。

過去に海洋に排出されたプラスチックごみからマイクロプラスチックは生成するの
で、マイクロプラスチックの量は年々蓄積し、増加している。

2050年には、海の魚介類とプラスチックごみが同じ重量になり、すべての食用の魚にマイクロプラスチックが含まれるようになるという深刻な事態が予想されている。

本リポート(上)では、第1章でプラスチックごみ問題の概要と世界と日本の海洋プラスチックごみの発生状況、第2章ではプラスチックごみの発生源と軽減法について、第3章では化粧品用などに使用されるマイクロビーズの使用禁止や自主規制の最近の状況、第4章ではマイクロビーズの用途とつくり方をまとめた。また第5章では、プラスチックの海洋での挙動とプラスチックの光分解反応について考察した。最後の第6章ではこの問題に対する国連、G7サミットなどの国際的取組みについてまとめた。

本リポート作成に当たっては、巻末の「参考文献」を参考にした。環境省（参考文献1～2）や国連関係（UNEPやGESAMP）の資料（参考文献5～8）と、この分野の第一人者である兼廣春之東京海洋大学名誉教授・元大妻女子大学教授（参考文献3）、高田秀重東京農工大学教授（参考文献4）、磯辺篤彦九州大学教授（参考文献11）の発表資料である。

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）のごみのこと。
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5mm以下のプラスチックごみを意味する。
- *一次的マイクロプラスチック：海洋に直接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ナノオーダーのもの。
- (2) *マイクロビーズ（本リポートではプラスチックビーズ、マイクロプラスチックビーズと同義語として使用）：化粧品などにスクラブ剤として使用される通常1mm以下の粒子。ポリエチレン製の球状のものが多い。
- *スクラブ剤：研磨剤の一種で、細かな粒子で毛穴の汚れや皮膚の角質を除去するもの。
- (3) *プラスチック（樹脂）の名称：PE（ポリエチレン）、LDPE（低密度ポリエチレン）、LLDPE（線状低密度ポリエチレン）、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、正式名称はポリエチレンテレフタレート）、PA（ポリアミドまたはナイロン）、PMMA（ポリメチルメタクリレート）。
- *プラスチック（樹脂）の製品形態：ペレット（代表的な製品形態：円柱状あるいは球状のもの）、パウダー（密度が約0.5の球状のもの）、ビーズ（真比重と同じ密度で球状のもの）。
- (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。

*バイオベースプラスチック：再生可能なバイオマスを原料につくられたプラスチック、合成法はバイオプロセスでも合成プロセスでもかまわない。

(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永遠にトラップしてしまうこと。トラップされた魚類、甲殻類は死んでしまうので、水産資源にダメージを与える。

(6) *POPs (Persistent Organic Pollutants)：残留性有機汚染物質、例はPCBs（ポリ塩化ビフェニル）、DDTs（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：樹脂用難燃剤）など。いずれも異性体を含むので複数表示（s）となる。

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

*UNEA (United Nations Environment Assembly)：国連環境総会。2014年に第1回会議が開かれた。

*SDGs (Sustainable Development Goals)：2015年制定の国連の持続的成長目標。

*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。

1 海洋プラスチックごみ（マクロプラスチック）とマイクロプラスチック

1.1 マクロプラスチックとマイクロプラスチックの関係

プラスチック袋、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いため海水中で浮遊し、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。

さらに、紫外線と物理的な力（波動など）によりこのマクロプラスチックよりサイズの小さいマイクロプラスチック（通常直径5mm以下のものと定義される）が生成し、海鳥、魚介類、プランクトンが摂食（誤飲）するので海洋生物への影響がある（図1）。

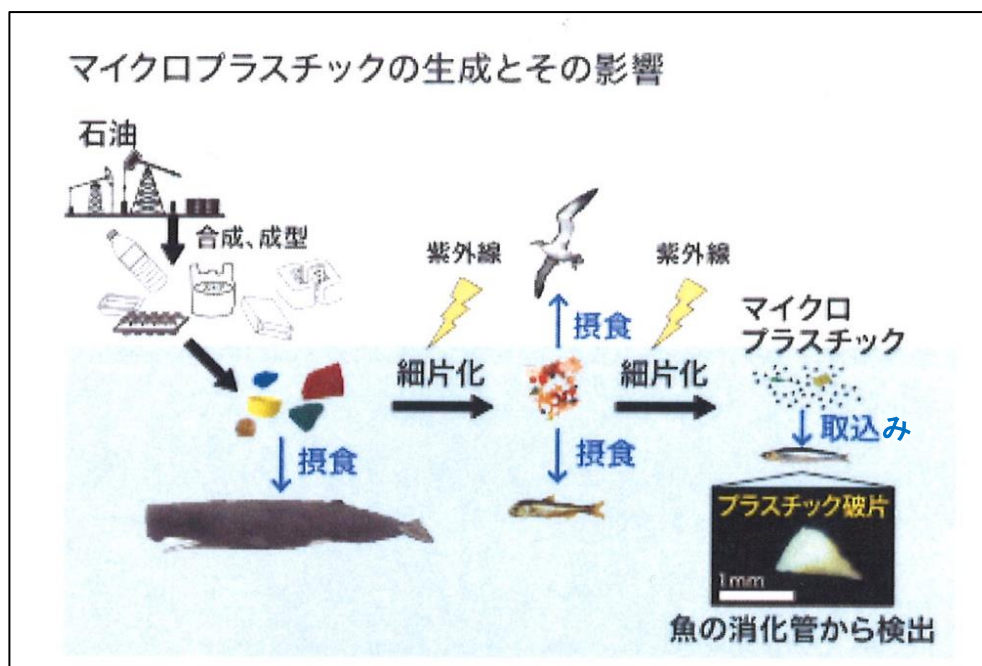


図1 マイクロプラスチックの生成とその影響

出典：高田秀重東京農工大学教授（参考文献(4)）。

また、有害な樹脂難燃剤を含むマイクロプラスチックや、海中の有害物質（PCB¹などのPOPs²）を吸着した汚染マイクロプラスチックを海洋生物が摂食して食物連鎖により人間の健康への影響が懸念されるようになった。

プラスチックのペレット（1～5mm）やマイクロビーズ（数十～数百μm）は、そのサイズがマイクロプラスチックの範囲に入るので、海に流失したものは一次的マイクロプラスチック（Primary microplastics）と呼ばれる（図2）。マイクロビーズは洗浄用化粧品のスラブ剤（研磨剤）に使用される。洗浄用化粧品は使用后、水道で洗い流されるので、マイクロビーズは下水に入り、最終的に海上に流れ込む。

一方、前述のように、マクロプラスチックが太陽の紫外線と波動などの物理的な力を受けることにより、崩壊・細片化してできたマイクロプラスチックは二次的マイクロプラスチック（Secondary microplastics）と呼ばれる（図2）。

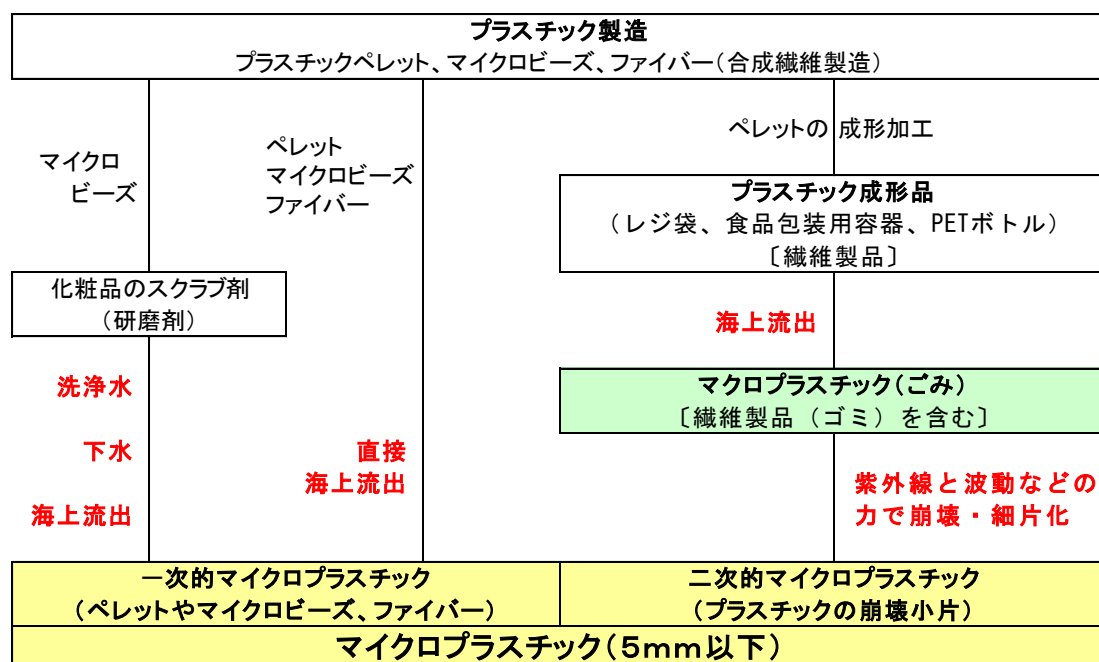


図2 海洋マイクロプラスチックの生成経路

出典：各種資料より旭リサーチセンターが作成。

¹ PCB（ポリ塩化ビフェニル）：かつて絶縁油として使われた。現在は製造・販売・使用禁止。

² POPs（Persistent Organic Pollutants：残留性有機汚染物質）：POPs条約で製造や使用が厳しく規制されている。

海洋プラスチックごみの多くは海水中で浮遊するポリエチレン、ポリプロピレン、（発泡）ポリスチレンであり、またポリ塩化ビニル、ポリエステル、ポリアミドは海水中で沈む。

図3に千葉県富津市の布引海岸に漂着したレジンペレット（一次的マイクロプラスチック）の写真を、また図4に高知県高知市に漂着したプラスチック破片（二次的マイクロプラスチック）の写真を示す。

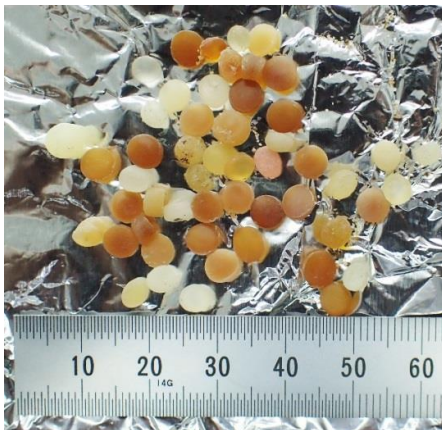


図3 レジンペレット
（千葉県富津市布引海岸）
（一次的マイクロプラスチック）

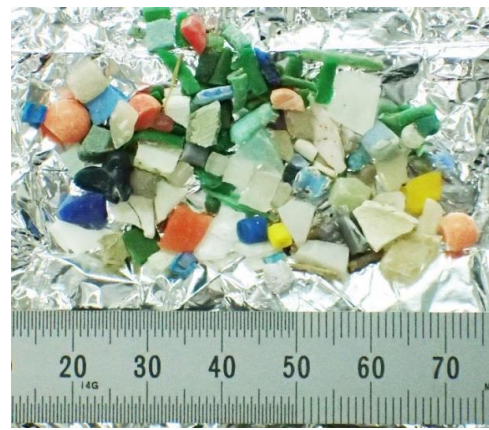


図4 プラスチック破片（高知県高知市）
（二次的マイクロプラスチック）

図3と図4の出典：環境省（<http://www.env.go.jp/press/files/jp/105275.pdf>）。

1.2 世界の海洋プラスチックごみの発生状況とホットスポット

（1）世界の海洋プラスチックごみの発生量の推定

世界の海洋プラスチックごみ発生量の定量的データはなく、各種の推定が行われている。その一例を紹介する。

ジョージア大学のJ. R. Jambeckらは2015年に、各国の海洋プラスチックごみ排出量を推定した論文を「Plastic waste inputs from land into the ocean」のタイトルでScienceに発表した。それによれば、世界の海に面した192か国より、2010年にプラスチックごみが2億7500万トン発生し、このうち海洋プラスチックごみになるのが480～1270万トンと推定している（2016年のダボス会議では、少なくとも毎年800万トンのプラスチックごみが海洋に排出されていると推定している）。同論文はまた国別の海洋プラス

チックごみの発生量順位を以下の通りと推測しており、それによればアジアが最大の発生場所になっている。

1位が中国で132万～353万トン（世界全体の28%）、2位がインドネシア48万～129万トン、3位がフィリピン28万～75万トン、4位がヴェトナム28万～73万トン、5位がスリランカ24万～64万トン、6位がタイ15万～41万トン、7位がエジプト15万～39万トン、8位がマレーシア14万～37万トン、12位がインド9万～24万トン、16位がブラジル7万～19万トン、19位が北朝鮮5万～12万トン、20位が米国4万～11万トン、21位が日本2万～6万トンである。

推定の計算式は次の通りである。

海洋プラスチックごみの発生量（年間）＝沿岸から50km以内に住む人口 × 一人当たりのごみの排出量（年間） × ごみの中のプラスチックの比率 × 適正に処理されない比率 × 海洋に流出する比率

表1は、代表的な国の上記式の各項目に使用された数値である。

表1 代表的な国の海洋プラスチック（プラ）廃棄物排出量の推定根拠

順位	国	経済分類	沿岸居住人口 (百万)	廃棄物 排出速度 (kg/人・日)	プラ廃棄物 比率 (%)	不適正 処理比率 (%)	不適正処理 プラ廃棄物 (百万トン/年)	海洋プラ 廃棄物 (百万トン/年)
1	中国	UMI	263	1.1	11	76	8.82	1.32～3.53
2	インドネシア	LMI	187	0.52	11	83	3.22	0.48～1.29
3	フィリピン	LMI	83	0.5	15	83	1.88	0.28～0.75
20	米国	HIC	113	2.6	13	2	0.28	0.04～0.11

注1：世界銀行の経済分類 HIC：高収入、UMI：高い中級収入、LMI：低い中級収入、LI：低い収入。

注2：沿岸居住人口は海岸から50km以内に居住する人口。

出典：J. R. Jambeck et al., Science 13 February 2015 pp. 768-771。

表1の「不適正処理プラ廃棄物」の192か国の推定年間発生量をマップにしたものが、図5である。これからも廃棄物発生量が多い国が、中国と東南アジア諸国に集中していることがわかる。

また、J. R. Jambeckらは、このままでいくと、2025年には累積の海洋プラスチック廃棄物量は2010年の約10倍に増加すると予測している。

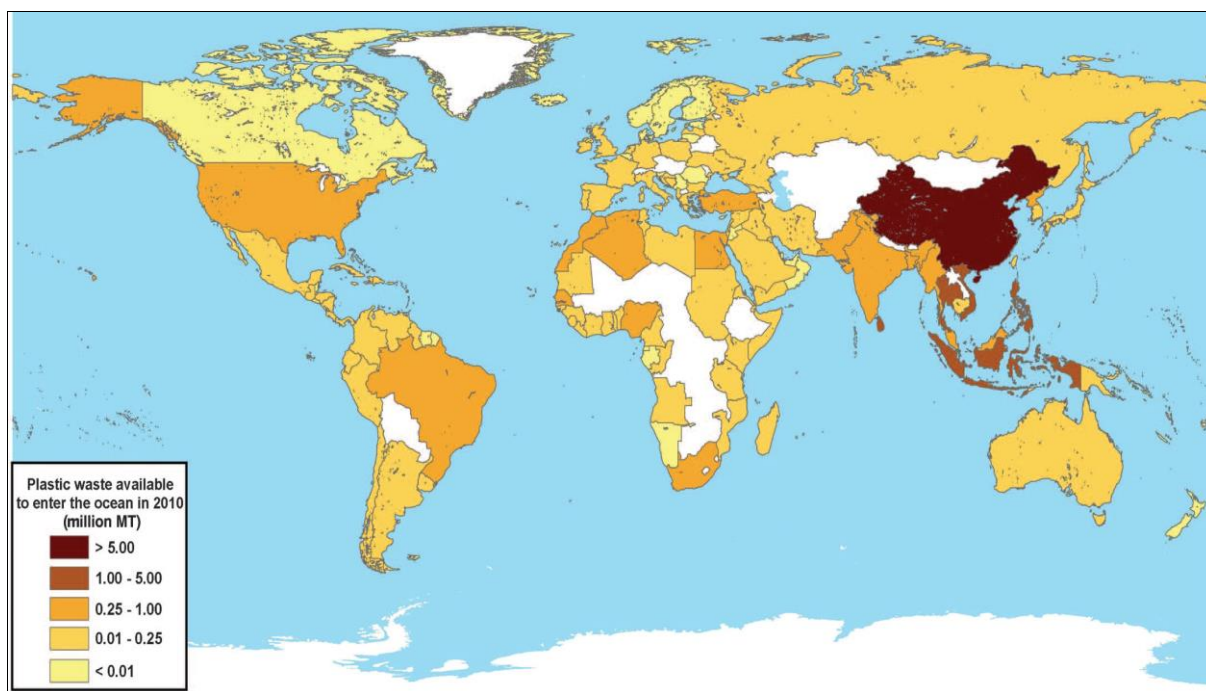


図5 不適正に処理されたプラスチック廃棄物の推定年間発生量の192か国のマップ
(2010年、沿岸から50km以内の居住者による陸上経由のプラスチック廃棄物発生量)

出典：J.R.Jambeck et al., Science 13 February 2015 pp.768-771。

(2) ホットスポットー太平洋の「ごみの島」

海洋中のプラスチックごみやマイクロプラスチックは漂流し、長距離輸送される³。

プラスチックごみは海洋に広く拡散するが、一方で海流や渦によって蓄積して濃度が特に高い地点（ホットスポット）を生じる。このホットスポットは世界中の海に存在する。

日本の本土の4倍の大きさの2つの「ごみの島」が太平洋にあるというニュースがよく伝えられる⁴。このニュースは海洋プラスチック問題に関心をもってもらうには大いに役立ったものの、少し大げさのようである。「ごみの島」というと海面一面がごみで覆われていることを想像するが、UNEPレポートによれば、実際は目視ですぐに確認することができないほどごみの濃度は低い⁵。ホットスポットの最初の発見者であるチャールズ・モアも著書『プラスチックスープの海ー北太平洋巨大ごみベルトは警告する』

³ 東日本大震災の津波で流出した家屋などがごみになって、米国西海岸に漂着した。日本は漂着地域に見舞金を支払った。

⁴ 英語では「Great Pacific garbage patch」と呼ばれる。

⁵ UNEPのレポート（参考文献(8)、71頁）

(NHK出版)の中で同じような記載をしている。「太平洋ごみベルト ありのままに言うのなら、ごみの山にぶち当たったわけではない。ごみの島を見たわけでもなければ、ごみがかだのように組まれていたわけでもないし、ごみが渦を巻いていたわけでもない。それらはすべて、のちにメディアが尾ひれをつけたでっち上げだ。この海域は“太平洋ごみベルト”として知られるようになり、これは大変便利な呼び方だが、実際とは少し違う印象を与える。その時見たのは、プラスチックでできた薄いスープである」。

1.3 日本周辺の海洋プラスチックごみの発生状況——環境省の測定調査

環境省は日本周辺の海洋プラスチックごみの密度（濃度）調査を定期的に行っている。最新の結果は2017年3月23日に発表されている（参考文献(1)）。調査は、沿岸への漂着ごみ、海洋表層の漂流ごみ（湾内と沖合）、近海の海底ごみについて実施された。

(1) 漂着ごみ

環境省の推計によれば、2013年度の日本全国の漂着ごみ（人工物と自然物）は約58万トンで、そのうちの回収量は約4.5万トンである。

図6は測定地点の一つである長崎県対馬市の海岸の状況の写真である。



図6 長崎県対馬市の海岸の状況

出典：環境省（参考文献(2)）。

図7は、平成26年度（2014年度）までと平成27年度（2015年）に環境省が行ったモニタリング調査地点を示す。図7に示される海流に乗って、海洋プラスチックごみやマイクロプラスチックが漂流し、漂着する。

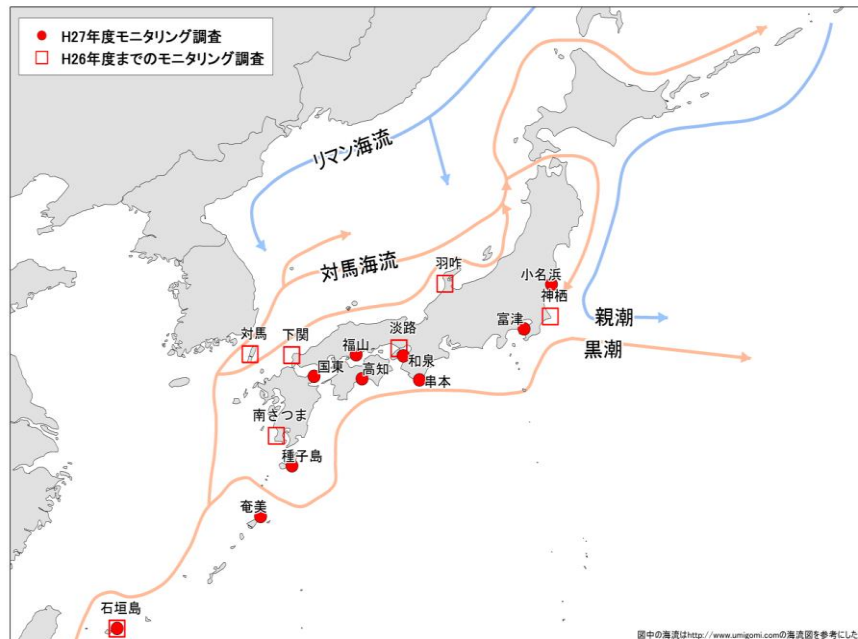


図7 平成26年度（2014年度）までと平成27年度（2015年度）モニタリング調査地点の位置
出典：環境省（<http://www.env.go.jp/press/files/jp/105275.pdf>）。

図8は、2015年度のモニタリング調査地点での漂着ごみの容量（リットル（1）/50m）とそれを自然物、人工物、漁具に3分類したときの比率である。自然物とは藻、原木、紙などである。人工物とはプラスチック、金属、ガラス・陶器、木材などである。人工物と漁具を合わせると多くの地点においてその比率は50%を超えている。なお、九州方面で漁具の比率が高いことが注目される。

図9はモニタリング調査地点での人工物（漁具を含む）の容量（1/50m）とその内訳（容量ベースの比率）である。図9からわかるように、ペットボトル、プラスチックとその他石油化学製品、食品包装材、食器容器、発泡スチロール（発泡ポリスチレン）を合わせた比率が約60%になっている測定地点が多い。

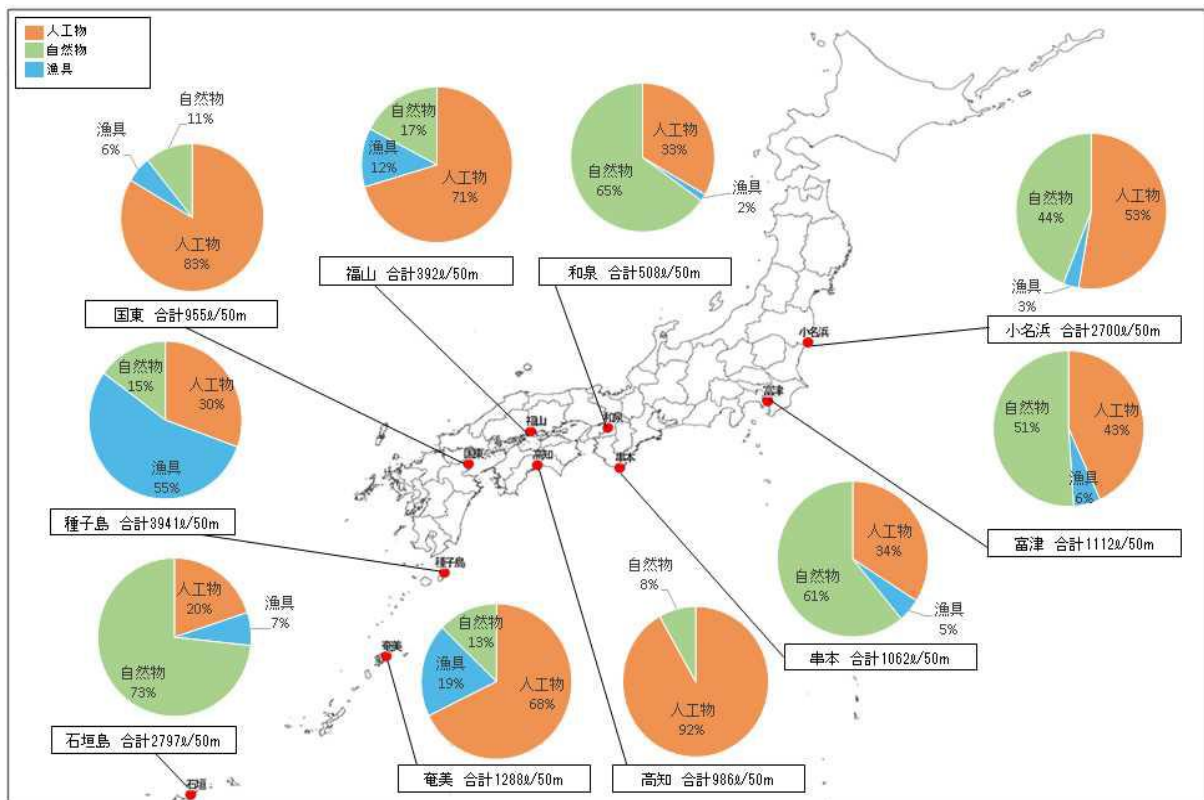


図8 各調査の漂着ごみの組成比（三分類〈人工物、漁具、自然物〉、容積）、2015年度

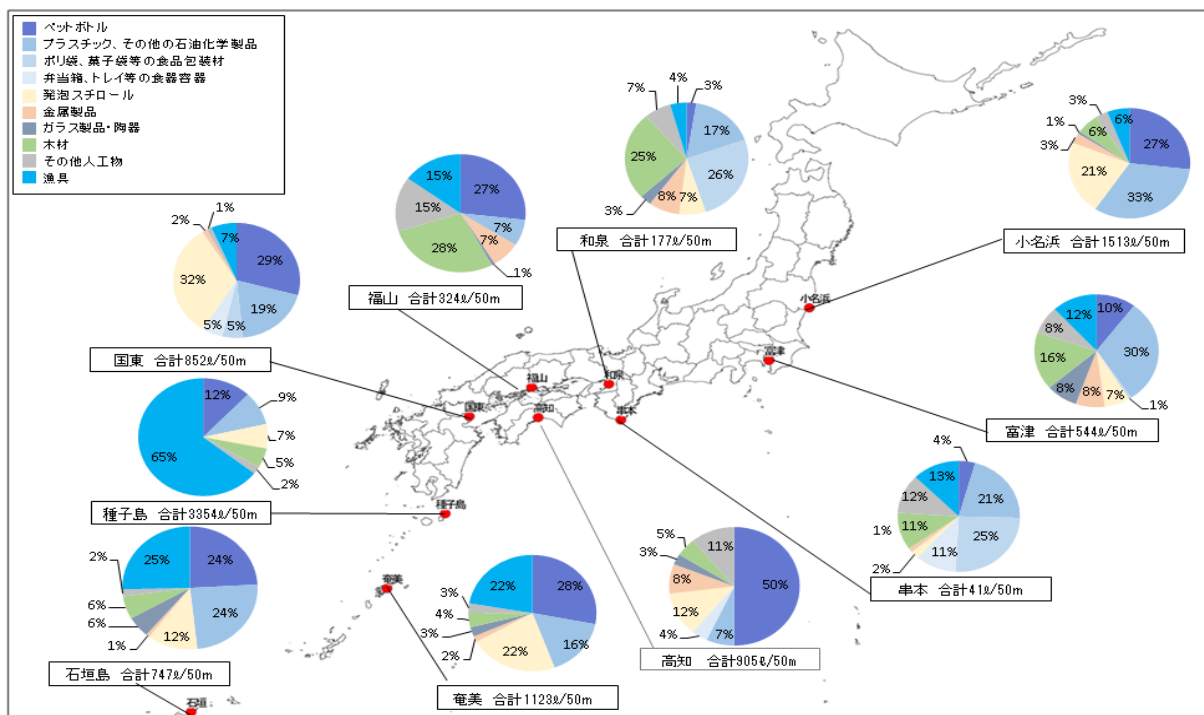


図9 各調査の漂着ごみの人工物別比（容積）、2015年度

注：小名浜は5年程度清掃活動が行われた記録のない場所での調査。高知は浦戸湾口での調査のため、河川ごみの影響を強く受けていると考えられる。

筆者注：図9の串本の合計は411/50mではなく、4101/50mであろう（筆者注）。

図8と図9の出典：環境省（<http://www.env.go.jp/press/files/jp/105275.pdf>）。

このうち、ペットボトルには製造国が明示されているので、どこの国のペットボトルかがわかる。図10に示すように、石垣島、奄美、種子島の南方地域は、中国製のものが圧倒的に多いが、その他地域はほとんどが日本製である。

不明分を除いた国別組成比は、2011～2015年度の平均は日本47%、中国31%、韓国21%であったが、2015年度は日本74%、中国23%、韓国2%であった。外国製品は減少しており、本州に漂着したペットボトルのほとんどは日本製である。

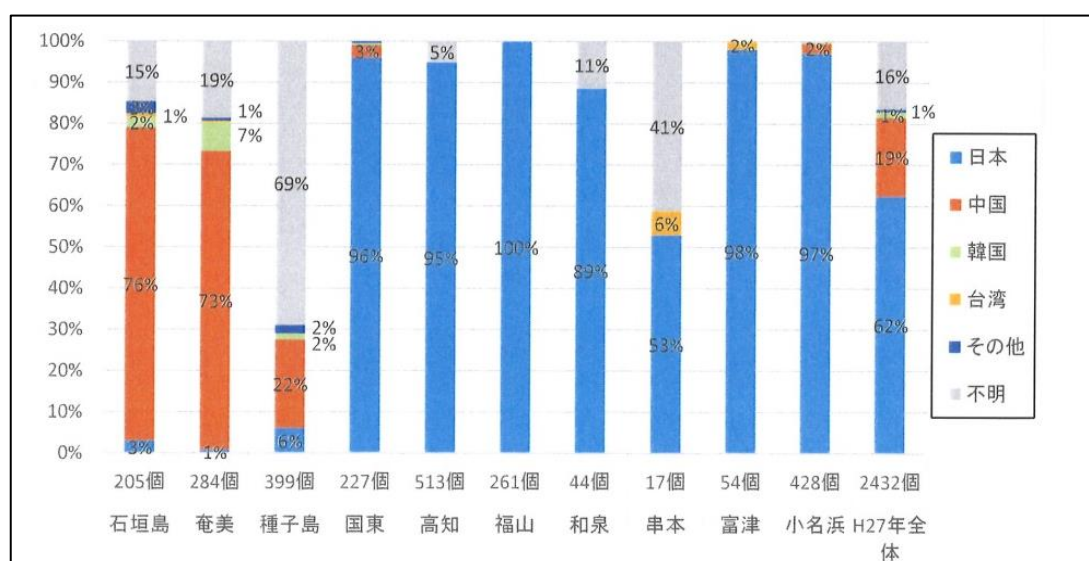


図10 ペットボトルの製造国別組成比（2015年度）

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

（2）漂流ごみ

沿岸海域（湾内）と沖合海域の漂流ごみの2つのが測定されている。いずれも観測船からの目視調査の結果である。

① 沿岸海域（湾内）における漂流ごみ

東京湾、駿河湾、伊勢湾の3つの湾について、湾奥、湾央、湾口、湾外で漂流ごみの調査が行われた。その平均値を表2に示す。

個別データとして、伊勢湾の湾外で459個/km²の高い合計密度が観測された。

表2 東京湾、駿河湾、伊勢湾の漂流ごみ密度（個/km²）、2015年度

湾 名	レジ袋	ペットボトル	食品包装	その他各種プラスチック	合計
東京湾（東京都、千葉県）	21	4	32	164	222
駿河湾（静岡県）	17	5	35	221	278
伊勢湾（愛知県、三重県）	17	3	28	219	267

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

② 沖合海域における漂流ごみ

図11に示すように、人工物濃度は日本海北区の86.04個/km²と東シナ海域82.79個/km²が最高で、太平洋中区の32.49個/km²が最低である。2倍以上の差がある。

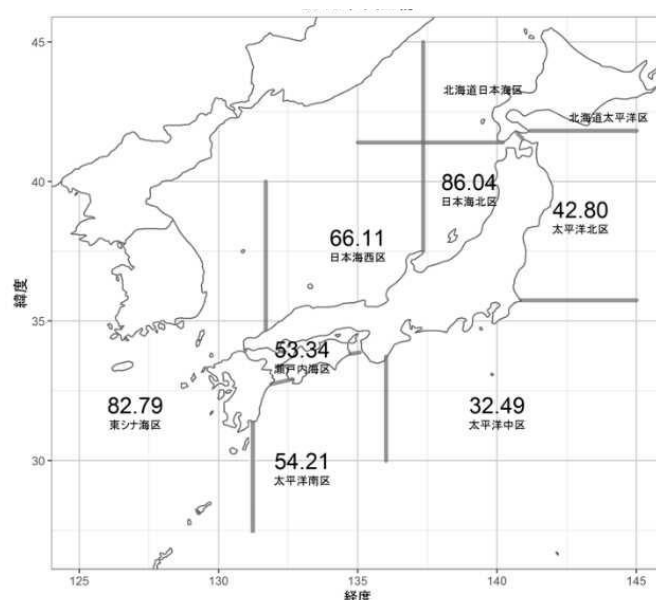


図11 人工物の海別分布密度（2015年度）

出典：環境省（<http://www.env.go.jp/press/files/jp/105279.pdf>）。

(3) 海底ごみ

漁協の協力を得て、底引き網を使って海底ごみの採取が行われた。海底ごみ（人工物）の全個数と内訳を表3に示す。プラスチック類の比率が70～80%と高い。

伊勢湾鳥羽沖は、海底ごみ全個数（673個/km²）とそのうちのプラスチック類個数（613個/km²）が際立って多い。

表3 夏季海底ごみ個数内訳（2015年度）

		海底ごみ全個数 (個数/km ²)	内訳(個数/km ²)				
			プラスチック類	ゴム類	布類	金属類	その他人工物
東京湾	横浜沖(神奈川県)	108	86	2	3	12	5
	木更津沖(千葉県)	229	204	3	10	9	3
	横須賀沖(神奈川県)	79	48	14	8	8	1
	富津沖(千葉県)	23	6	0	1	14	2
駿河湾	清水沖(静岡県)	253	158	7	17	45	26(うち紙類25)
伊勢湾	鈴鹿沖(三重県)	154	102	5	5	29	13
	津・松阪沖(三重県)	113	72	1	1	35	4
	鳥羽沖(三重県)	673	613	na	na	36	24

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

水産庁の資料によれば、日本のEEZ（排他的経済水域）の海底にたまった漁具廃棄物を回収するために10年間で累計102億円という多額の回収費用が必要であった（表4）。これには、韓国製の漁具（アナゴ筒）の回収費が含まれている。

回収・処理費用に、平均110万円/トン（1,100円/kg）がかかっている計算になる。

表4 日本のEEZ（排他的経済水域）の海底から回収した投棄漁具の重量と回収費用

	1999 ～2001	2002 ～2004	2005	2006	2007	2008	2009	総計
投棄漁具（刺し網、カゴ漁具、 （トン） アナゴ筒(韓国製)）	1,796	2,333	990	655	809	772	1,702	9,056
助成金（漁業機能維持管理 （億円） 事業）	22.3	18.9	6.9	7.4	7.6	9.5	29.5	102.2

回収・処理費用＝102.2億円/9,056トン＝110万円/トン

出典：水産庁。参考文献(2)参照。

2 海のプラスチックごみの発生源と軽減策

2.1 プラスチック（ポリマー）の生産量

図12に示すように、世界のプラスチック生産量は過去急激に増加し、それに対応して海のプラスチックごみが増加してきた。Plastics Europe（PEMRG）によれば、世界の全プラスチック（合成ゴム、接着剤・シーラント、塗料を含む）の生産量は、図12に示すように1950年の159万トンから始まって急速に増加し、最近では2005年の2億3000万トンが10年後の2015年には3億2200万トンにまで増加した⁶。この間（2005年から2015年）、ヨーロッパや日本の生産量は図のように横ばいであるが、世界全体の伸びが大きいのは中国をはじめとする新興国の伸びが大きいためである。また、プラスチックの中で最大生産量のポリエチレンは、今後2～3%/年でさらに生産量が増加すると予測されている。

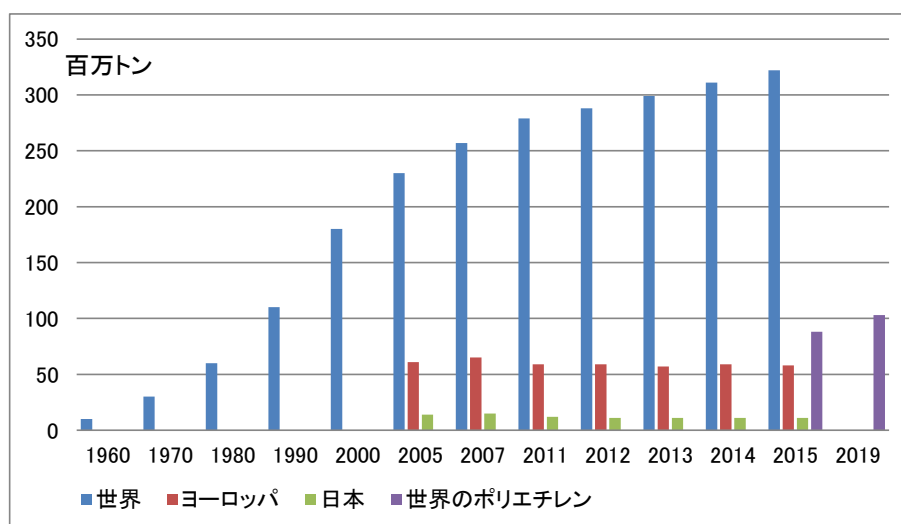


図12 世界、ヨーロッパ、日本のプラスチック生産量と世界のポリエチレン生産量の推移

出典：①世界とヨーロッパのプラスチックの生産量はPlastics Europe（PEMRG）。

注：熱可塑性プラスチック、熱硬化性プラスチック、合成ゴム、接着剤・シーラント、塗料、PP繊維を含む。ポリエステル繊維、ポリアミド繊維、アクリル繊維は含まない。

②日本のプラスチック生産量はプラスチック循環利用協会（図15）。注：熱可塑性プラスチックと熱硬化性プラスチックを含む。

③ポリエチレン生産量はダウケミカル資料。

①～③を使って旭リサーチセンター作成。

⁶ Plastic Europe, World Plastics Production 1950–2015
<https://committee.iso.org/files/live/sites/tc61/files/The%20Plastic%20Industry%20Berlin%20Aug%202016%20-%20Copy.pdf>

また、世界で製造された熱可塑性プラスチックと熱硬化性プラスチックの合計は2015年に2億6900万トンであり、熱可塑性プラスチックが約90%、熱硬化性プラスチックが約10%を占める（図13（左））。

熱可塑性プラスチックの内訳は、比率の高い順位にポリエチレン（PE） 32%、ポリプロピレン（PP） 23%、ポリ塩化ビニル（PVC） 16%、ポリスチレン・発泡ポリスチレン（PS・EPS） 7%、ポリエステル（PET） 7%である。これら主要プラスチック（PE、PP、PS・EPS、PVC、PET）を合わせると、全体の約85%になる。

プラスチックごみの主体も包装材料などに使用されるポリエチレン、ポリプロピレン、ポリスチレン（発泡体を含む）と、ポリ塩化ビニル、ポリエステル（ペットボトル）である。

また、図13（右）に示すように、地域的には中国の28%を含むアジアが49%、ヨーロッパとNAFTA（北米）がそれぞれ18、19%である。中国のシェアは2006年に21%であったものが、2015年には28%にまで増加している。前述のように、Jambeckらは、海洋のプラスチックごみの排出量は中国の28%を含むアジア全体が世界の60%以上と推定した（6～7頁参照）。

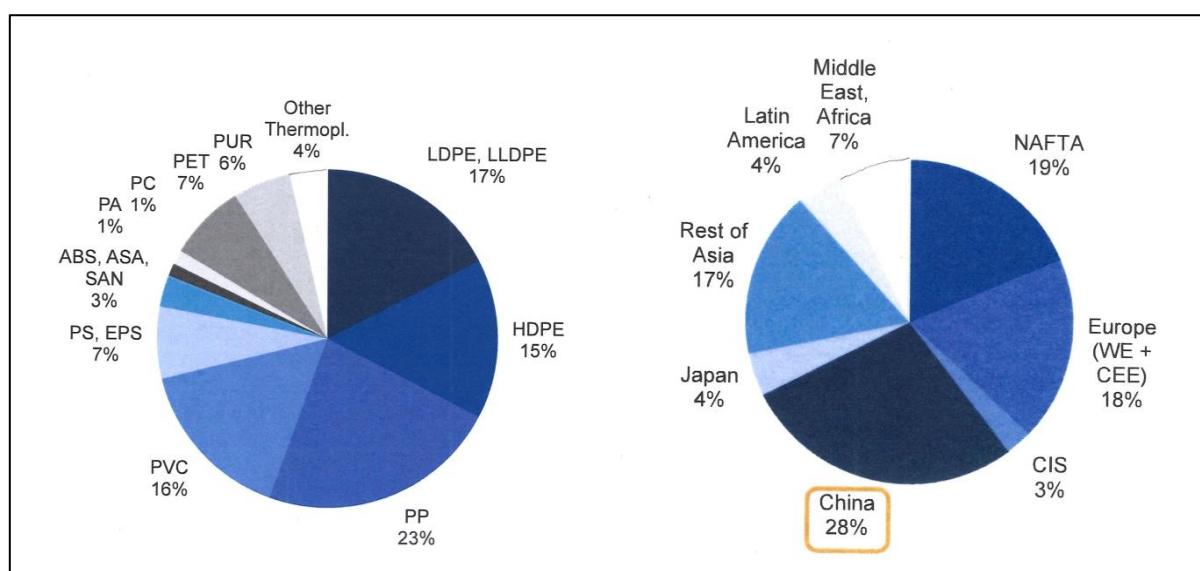


図13 世界のプラスチック生産量のポリマー種類別と地域別内訳（2015年）

（合成繊維、合成ゴム、接着剤・シーラント、塗料などを除く世界のプラスチック生産量は2億6900万トン）

出典：Plastics Europe（PEMRG）。

2.2 海のプラスチックごみの発生源とプラスチック素材の関係

海洋プラスチックごみ（マクロプラスチック）と一次的マイクロプラスチックの発生源について表5にまとめた。

表5 マクロプラスチックと一次的マイクロプラスチック（赤字）の発生源

発生源の分野		樹脂、加工品およびくず (赤字は一次的マイクロプラスチック)	陸上→ 海上	海上 直接
製造 加工	プラスチック製造 プラスチック成形加工 繊維製造・加工	ペレット・ビーズ ペレット・ビーズ・成形品 繊維、繊維製品、繊維くず	○ ○ ○	
物流	陸上、船積、海上	ペレット・ビーズ・成形品	○	○
消費者 生活	袋、 食品包装用 飲料容器 その他容器 緩衝材 化粧品・香粧品 洗浄用スポンジ 衣類	レジ袋、ごみ袋、米袋(PE、PP、PS) トレイ、フィルム、容器(PE、PP、PS) ペットボトル(PET)、キャップ 洗剤、漂白剤用ボトル(HDPE) 発泡体(発泡PS) 化粧品用ビーズ(スクラブ剤)(PE) メラミンスポンジ(メラミン) 衣類(PET、PA、アクリル繊維)	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	
	タイヤ ゴム製品	洗濯時の繊維くず(PET、PA、アクリル) タイヤダスト(摩耗くず)(SBR、BR) 履物、パッキンなど(SBR、BR)	○ ○	○
住宅・ 建設	断熱・防湿	断熱材、ハウスラップ(PE、PUR、フェノール) 樹脂サッシ、外壁材(PVC)	○ ○	
	内装 配管	壁紙、タイル(これらは軟質PVC) 水道水・下水・ガス配管(PVC、PE) 雨どい(PVC)	○ ○ ○	
農業	温室、マルチ 肥料、作物	農業フィルム(PE、PP、PVC) 肥料用、作物用袋(PE) コーティング肥料用ポリマー(PMMA、PE)	○ ○ ○	
観光・ レジャー	陸上と海上	消費者使用のプラスチック成形品 釣り具	○ ○	○ ○
	ボート・ヨット・漁船	船体(フェノール樹脂などのFRP)	○	○
漁業	一般漁業用、 養殖用漁具	釣り糸、漁網、ロープ、仕掛け (PET、PA、PP、PE繊維) 浮き(発泡PS、発泡PUR)	○ ○	○ ○
	魚箱	魚箱(発泡PS)		

注：黄色地は重要発生源。

出典：各種資料より旭リサーチセンターが作成。

発生源は陸上が多く、河川を通じて海上に排出される（一説には陸上80％、海上20％）。河川の河原にプラスチックごみがたまっているのをよく見かけるが、大雨や洪水ですべて海に流出してしまう。

また、表5にはプラスチック加工品に使用されているポリマー名を略号で記載した。
 また表6に、これらポリマーの分類、ポリマー名（略号）、密度、主用途をまとめた。ポリマーは熱可塑性プラスチック、熱硬化性プラスチック、合成繊維、合成ゴムに分類される。いずれのポリマーも海洋プラスチックごみの発生源である。

表6 各種ポリマーの特性と用途

分類	ポリマー名	密度 g/cc	主用途
熱可塑性プラスチック	低密度ポリエチレン (LDPE)	0.91～0.93	包装材料(レジ袋、フィルム、チューブ) 各種容器とボトル、農業フィルム
	線状低密度ポリエチレン (LLDPE)	0.91～0.93	雑貨 絶縁用電線被覆
	高密度ポリエチレン (HDPE)	0.94～0.965	包装材料(フィルム、シート)、ボトル、 容器、灯油缶、雑貨(バケツ)、パイプ
	ポリプロピレン (PP)	0.90～0.92	自動車部品(バンパー)、家電部品 包装材料、容器、キャップ、ロープ、繊維
	ポリスチレン (PS)	1.04～1.09 (発泡体0.01～)	食品用トレイ、発泡製品(浮き、魚箱、 カップめん容器、緩衝材)、家電部品
	ポリ塩化ビニル (PVC)	1.16～1.45 軟質～硬質	建設・住宅(パイプ、雨どい、サッシ、 壁紙、タイル)、電線被覆
	ポリメチルメタクリレート (PMMA: アクリル樹脂)	1.17～1.20	自動車ランプカバー、住宅・建設関連 (シート)、液晶導光板
	ポリエステル樹脂 (PET)	1.34～1.39	PETボトル、食品包装用シート
	ポリアミド樹脂 (PA) N6、N66	1.13～1.15	自動車部品、電機部品
繊維	ポリエステル繊維 (PET)	1.34～1.39	衣料、タイヤコード
	ポリアミド繊維 (N6、N66)	1.13～1.15	ロープ、漁網
合成ゴム	スチレンブタジエンゴム (SBR)	0.94 (生ゴム)	タイヤ、自動車窓枠、防振ゴム
	ポリブタジエン (BR)	0.9 (生ゴム)	タイヤ、自動車窓枠、防振ゴム
熱硬化性プラスチック	ポリウレタン (PUR)	1.1～1.5	発泡体(クッション、断熱材)
	メラミン	1.48	化粧板 洗浄用スポンジ
	フェノール樹脂	1.21～1.50	FRPとして各種成形品(船舶、自動車部品)、 プリント配線基板
備考		海水密度 1.03	

注：ポリエチレン (PE) はLDPE、LLDPE、HDPEの総称である。黄色地は海洋プラスチックごみに関係が深いもの。

出典：『工業有機化学』東京化学同人（参考文献(10)）などより旭リサーチセンターが作成。

なお、ポリエチレン（PE）とは、表6の低密度ポリエチレン（LDPE）、線状低密度ポリエチレン（LLDPE）、高密度ポリエチレン（HDPE）の総称である。

ポリマーは密度により、海水中でペレットや加工品が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、アクリル樹脂、ポリエステル、ポリアミド、熱硬化性プラスチックに分かれる。海水中で浮くプラスチックのほうが量的に多い。なお、ポリエステル製の空ペットボトルは、キャップがしてあれば、海水中で浮く。浮遊するプラスチック（加工品）は海洋漂流し、また一部は海岸に打ち上げられ漂着ごみとなる。

2.3 各発生源と発生軽減策

発生源は表5に示すように幅広い分野にまたがっている。残念ながら、発生源ごとの排出量のデータはない。表5で黄色地で示した消費者生活、観光・レジャー（陸上と海上）、漁業（一般漁業と養殖）の3分野が発生量が多いといわれる。

各発生源の特徴と発生軽減策を、以下に簡単にまとめた。

(1) プラスチックの製造と成形加工、繊維の製造と加工

これらの工場ではペレットやビーズが管理不十分で排水溝に流れると、河川を通じて最終的に海に流れ込み、一次的マイクロプラスチックを発生させる。

日本プラスチック工業連盟は1993年に、「樹脂ペレット漏出防止」に向けて樹脂ペレット漏出防止マニュアルを作成した。マニュアルは、①樹脂製造業、②樹脂の輸送/保管業、③成形加工業、④研究・試験関係、⑤機械/金型製造業、⑥再生工業/着色業、⑦複合再生業、⑧廃プラスチック処理業の各事業別のマニュアルからなっている。また、樹脂ペレット漏出防止策として有効な「金網装置施工事例集」をホームページに掲載している⁷。また、図14のPR用のポスターを作成、配布している。

⁷ http://www.jpif.gr.jp/9kankyo/conts/gl_roboshi1_c.htm
http://www.jpif.gr.jp/9kankyo/conts/pellets_roboshi.pdf



図14 日本プラスチック工業連盟「樹脂ペレット漏出防止」のポスター

出典：日本プラスチック工業連盟。

現在、プラスチックペレットやビーズほど騒がれていないが、繊維の製造と加工で発生する繊維くず（ファイバー）も一次的マイクロプラスチックの重要な発生源になる。

(2) 陸上輸送（荷積みと荷下ろし）、海上輸送（船積み、荷下ろし）の分野

輸送時や荷物の移動時、ペレットの包装袋が破れてペレットが散乱することがある。よく回収しないと、川や海に流れ込み一次的マイクロプラスチックとなる。

(3) 消費者生活（消費者使用物品）

消費者の生活は食品などの容器・包装用プラスチック製品を多量に使用し、プラスチックごみの発生が多い重要な発生源である。主な材料は各種ポリエチレン、ポリプロピレン、（発泡）ポリスチレン、ポリエステルである。

使い捨てのものが多く問題視されており、3R（Reduce、Reuse、Recycle）により使用量を減らし、またプラスチック廃棄物の焼却時のエネルギー回収などが求められている。

次の第3章に述べるように、マイクロビーズの化粧品のスクラブ剤用途は一次的マイクロプラスチックの発生源になることから、禁止ないし規制されている。

そのほかに、洗濯時に廃水とともに排出する繊維くず、台所で使用するメラミンスポンジのダスト、タイヤダスト（走行時の摩耗くず）が一次的マイクロプラスチックの発生源になると指摘されている。

（4） 住宅・建設分野

プラスチック製品が長期間使用される用途である。ポリエチレン（ハウスラップ、ガスパイプ、断熱材）、硬質のポリ塩化ビニル（パイプ、雨どい、樹脂サッシ）、軟質のポリ塩化ビニル（室内の壁紙、床のタイル）、ポリウレタンやフェノール樹脂（断熱材）などが使用される。軟質ポリ塩化ビニルには、フタル酸系可塑剤（代表例はフタル酸ジオクチル（DOP）：フタル酸ジ（2-エチルヘキシル）（DEHP）ともいう）が使用されてきた。DOPは内分泌攪乱化学物質（環境ホルモン）の疑いから現在は使用されなくなっているが、かつては大量に使用されていた。

（5） 農業分野

ポリエチレンやポリ塩化ビニルのフィルムが温室やマルチ栽培に大量に使用される。使用後の処理が不十分で放置されるとプラスチックは崩壊し、大雨時などに排水溝や雨水溝から河川に流れ込む。また、プラスチックコーティングした肥料が緩効性肥料として使用されている。肥料が徐々に溶け出した後は中空のプラスチックの殻が残る。これは、水に浮くので雨で排水溝に流されやすい。海に流出すると一次的マイクロプラスチックになる⁸。

（6） 観光・レジャー分野

陸上、川辺、浜辺、海上での観光・レジャーによりプラスチックごみが排出することが多く、重要な発生源である。

⁸ 参考文献(6)のGESAMP リポートNo. 93、21頁（2016）。

特に浜辺や海上で捨てられたプラスチックごみは直接海洋を汚染する。また大洋において、各種の大型船が通行する航路上はプラスチックごみやマイクロプラスチックが多いといわれる。品目は、前記（３）の消費者生活（消費者使用物品）と似たものである。

（７） 漁業分野

捕獲漁業や養殖で使用する漁具は海洋プラスチックごみの一つの主要な発生源であり、これまで大きな問題になっている。

UNEP⁹はALDFG（Abandoned Lost or otherwise Discarded Fishing Gear¹⁰（やむを得ず放棄したもしくは投棄された漁具）と呼んで、この問題を重視し、問題解決に永年取り組んでいる。特に、廃棄された漁具（かごなどのトラップ）は、継続的に魚を閉じ込めて死亡させる「ゴーストフィッシング」の問題を引き起こす¹¹。また、廃棄された網に魚や海鳥が絡まって死亡する例が過去頻発した。

前述のように、日本では海底にたまった漁具廃棄物を回収するために、10年間で累計約100億円という多額の回収費用がかかっている（表4参照）。

捕獲漁業や養殖で、プラスチック製や合成繊維製の漁具（釣り糸、漁網、ロープ、浮き、仕掛け）が大量に使用される。プラスチックとしてはポリエチレン、ポリプロピレン、ポリ塩化ビニル（漁網にしたとき沈む）、発泡ポリスチレン（浮き）、発泡ポリウレタン（浮き）などが、合成繊維としてはポリアミド（ナイロン）やポリエステルのほかポリプロピレン繊維がロープ、漁網などに使用される。

漁具の劣化、崩壊によって海中でプラスチックごみや繊維くずが直接発生する。また、暴風雨など悪天候やトラブルによる漁具の回収不能や、漁具の回収放棄や投棄はすべて海洋ごみになる。漁具の回収放棄や投棄は、回収と処分に手間とお金がかかるという経済的理由が大きい。

⁹ UNEP 参考文献(8)、59頁

¹⁰ The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and United Nations Environment Programme (UNEP) 共著G.Macfadyen et al.
「Abandoned Lost or otherwise Discarded Fishing Gear」2009年
<http://www.fao.org/docrep/011/i0620e/i0620e00.htm>

¹¹ 世界各地に固有の漁獲方法と固有の漁具があるので、世界統一的対策が取りにくい。

回収しやすい漁具の設計と開発が必要であり、また回収したごみを保管する場所や適切な価格で引き取り処分してくれる体制・設備が必要である。

2.4 プラスチックごみ軽減のための3R推進と廃棄物処理法の改善

(1) プラスチックごみの排出量の概要

プラスチック循環利用協会によれば、日本の廃プラスチックの総排出量は2015年に915万トンで、過去20年間ほぼ横ばいである。内訳は一般系廃プラ435万トン、産業系廃プラ480万トンでほぼ1：1である。この比率も過去20年間変わっていない（図15）。

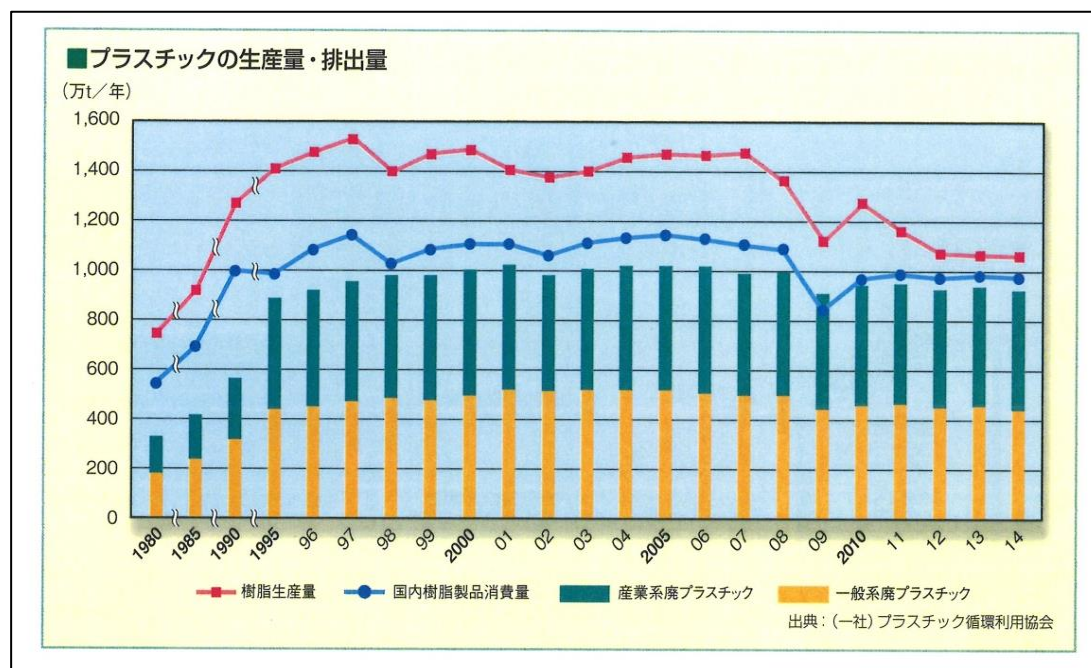


図15 プラスチックの生産量と排出量

出典：プラスチック循環利用協会。

廃プラスチックの処理方法は、有効利用（83％）と未利用（17％）に分類される。有効利用は、マテリアル・ケミカルリサイクルが241万トン、サーマルリサイクル521万トンの合計762万トンである。未利用は単純焼却87万トン、埋立て65万トンの合計152万トンである。

廃プラスチック915万トンのプラスチック別内訳は、ポリエチレン300万トン、ポリ

プロピレン212万トン、ポリスチレン・ABS・AS114万トン、ポリ塩化ビニル78万トン、その他210万トンとなっている（図16）。

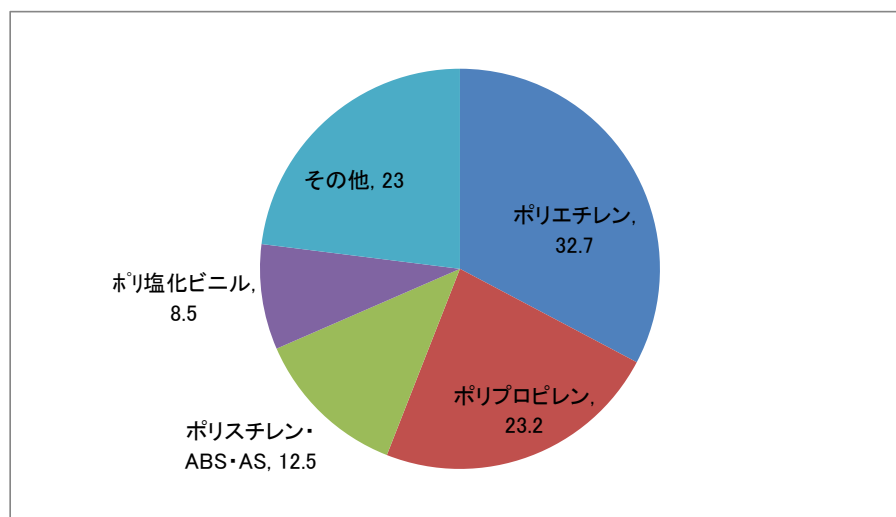


図16 廃プラスチックの樹脂別内訳（%）

出典：プラスチック循環利用協会資料を基に旭リサーチセンター作成。

使用済み品のリサイクル量は127万トンで、そのうちペットボトルが47万トンと一番多い。

（2） 3R（Reduce、Reuse、Recycle）による海洋プラスチックごみの削減

プラスチックの使用量を減らすため、あるいはプラスチック廃棄物を減らすために、3R（Reduce、Reuse、Recycle）が有効であることが推奨され、推進されてきた。海洋のプラスチックごみを減らすためにも3Rが有効な対策で、プラスチック廃棄物の削減は海洋プラスチックごみの削減に直結する。特に問題視されているのは、1回しか使用しない使い捨てのプラスチック袋（無料のレジ袋など）と飲料用のペットボトルである。これに関連して2、3のトピックスと意見を述べる。

① ペットボトルの「ボトル to ボトル」リサイクル

回収ペットボトルを洗浄して飲料用ボトルとしてリユースすることは衛生上禁じられている。このため、回収ペットボトルからメカニカルリサイクル（物理的再生法）により再生ペットボトルをつくる方法（ボトル to ボトル）が開発され、実用化された。

メカニカルリサイクル法は回収ペットボトルを粉砕して、ペレット化したのち固相重合にかけて分子量を元のレベルまで上げる。このペレットを通常の中空成形機にかけてペットボトルをつくる¹²。分子量を元のレベル（バージンポリマーの分子量）まで上げることにより、リサイクルによる物性低下をカバーした注目すべき技術である。なお、工程の各段階で不純物を除去する工夫をしている。

ペットボトル原料のPET（ポリエチレンテレフタレート）は、リサイクルに適した材料であることを再認識した。

② 使い捨てプラスチック袋やペットボトルの使用規制¹³

使い捨てプラスチック袋（主にポリエチレン）やペットボトルの使用規制が世界的に進んでいる。海洋プラスチックごみを減らすことが一つの目的であり、同時に石油資源使用を削減し、二酸化炭素発生を減らす狙いがある。

中国、台湾、インド（デリー市）は既に禁止ないし規制をしている。

EUではレジ袋（plastic carrier bags）削減策を推進している¹⁴。無料のレジ袋を有料化、もしくは有税化する政策を策定することおよび（あるいは）国の削減目標を立てることが義務づけられている。削減目標の例としては、レジ袋の現在の使用量200枚/年・人を、2019年末までに90枚/年・人、2025年末までに40枚/年・人に削減するというものである。フランスは2016年7月1日から、厚さ50μm以下の使い捨てレジ袋の使用を禁止した。

アメリカでもハワイ、カルフォルニア（一部）でレジ袋の禁止が、また特定の州や都市でレジ袋の有料化・有税化が実施されている¹⁵。

日本もレジ袋削減策は試みられているが、これらの国に比べて遅れていることは否めない。

また、サンフランシスコは飲料水用ペットボトルを禁止する準備を進めており、飲

¹² PETボトルリサイクル協議会：<http://www.petbottle-rec.gr.jp/more/mechanical.html>

¹³ https://en.wikipedia.org/wiki/Phase-out_of_lightweight_plastic_bags
<http://www.independent.co.uk/news/world/asia/india-delhi-bans-disposable-plastic-single-use-a7545541.html>

¹⁴ http://ec.europa.eu/environment/pdf/25_11_16_news_en.pdf

¹⁵ <http://www.ncsl.org/research/environment-and-natural-resources/plastic-bag-legislation.aspx>

料水用ペットボトル禁止の最初の都市になるだろうといわれている¹⁶。

③ プラスチックマテリアルリサイクルの限界——金属とプラスチックのマテリアルリサイクルの比較

プラスチック容器のリサイクル率はわずか14%で、スチール缶の70～90%を大幅に下回っていると指摘される。アルミニウム缶はスチール缶よりもさらにリサイクル率が高い。

リサイクルを推進することは正論である。しかし、プラスチックのリサイクルは、金属のリサイクルに比べエネルギー的なメリットが少ないため、金属並みにリサイクル率を上げることは難しい。金属材料は原料鉱石から金属をつくる精錬工程に大量のエネルギーを使用している。一方、リサイクルで金属から缶をつくるのに必要なエネルギーは小さい。アルミニウムの場合、精錬工程のエネルギーと缶を製造するエネルギーの比は97：3という報告がある¹⁷。

一方、石油からプラスチックをつくる段階では、それほど大きなエネルギーを使用しないので、プラスチックは原料の石油に比べそれほど価値が高くない。このため、リサイクルに必要なエネルギーなどの回収・再生コストが、石油からプラスチックをつくるコストを上回ることがある。

(3) プラスチック廃棄物の処理方法の改善

3Rとともに、プラスチック廃棄物の処理方法の改善は、プラスチックごみを減らす有力な手段である。固形廃棄物処理と廃水処理の2つが重要であるが、ここでは前者について述べる。

① ガス化熔融炉の導入により一変したプラスチック廃棄物の処理方法

かつて各家庭では、自治体によりプラスチックごみは不燃ごみとして、可燃物ごみと分けて出していた。当時、自治体の焼却炉はプラスチックを燃やすと発熱量が多いため高温になり炉を傷めること、またポリ塩化ビニルなどの塩素含有プラスチックを燃や

¹⁶ <https://yourstory.com/2016/09/san-francisco-plastic-bottles-ban/>

¹⁷ 御園生 誠 『現代の化学環境学』（裳華房）185頁。

すと塩化水素が発生し炉を傷めるとともにダイオキシンが発生することが理由であった。

ダイオキシン問題が騒がれて、ダイオキシン類対策特別措置法（1999年）が公布された前後に、最新で高額なガス化溶融炉が自治体に一斉に導入された¹⁸。これにより、ダイオキシンの環境濃度は激減し、プラスチックも可燃ごみとして一般の可燃ごみと同じ扱いになった。

そして、それまで埋立てで処理されていたプラスチックごみは、焼却されるようになり、燃焼熱を回収するエネルギーリサイクルが増加した。可燃物ごみとして出せるようになり、プラスチックごみの投棄が少なくなったのではないかと推定される。

なお、このころ導入されたガス化溶融炉が耐用年数（通常20年）を迎えることから、長寿命化が図られているが、いずれまた大きな設備投資が必要となる。

ガス化溶融炉は性能的に優れているが高額であり、発展途上国や新興国での採用は経済的に難しいことも予想される。ガス化溶融炉の大幅なコストダウンや経済的支援が必要となろう。

② ヨーロッパのプラスチック廃棄物処理方法の変遷

Plastics Europe（PEMRG）によれば、ヨーロッパ（EU28か国＋2か国）の2006年の廃棄物処理方法は埋立て52%、エネルギー回収29%、リサイクル19%であったが、2016年には埋立て30.8%、エネルギー回収39.5%、リサイクル29.7%になり、埋立てが大幅に減少した。埋立てを法律で禁止する国が増えたことと、それ以外の国も埋立てを減らしたためである。なお、2014年度の日本は埋立て7%、単純焼却10%、サーマルリサイクル57%、マテリアル・ケミカルリサイクル26%である。83%がリサイクルで利用されている。

図17に示すように、ヨーロッパでも国によって状況はだいぶ異なる。埋立て（landfill）を禁止した国（ドイツ、オーストリア、スイス、オランダ、ベルギー、ノルウェー、スウェーデンなど）では埋立てはほとんどないが、それ以外のイタリア、イギリス、スペイン、東欧は埋立てが多い。

¹⁸ <http://tenbou.nies.go.jp/science/description/detail.php?id=70>

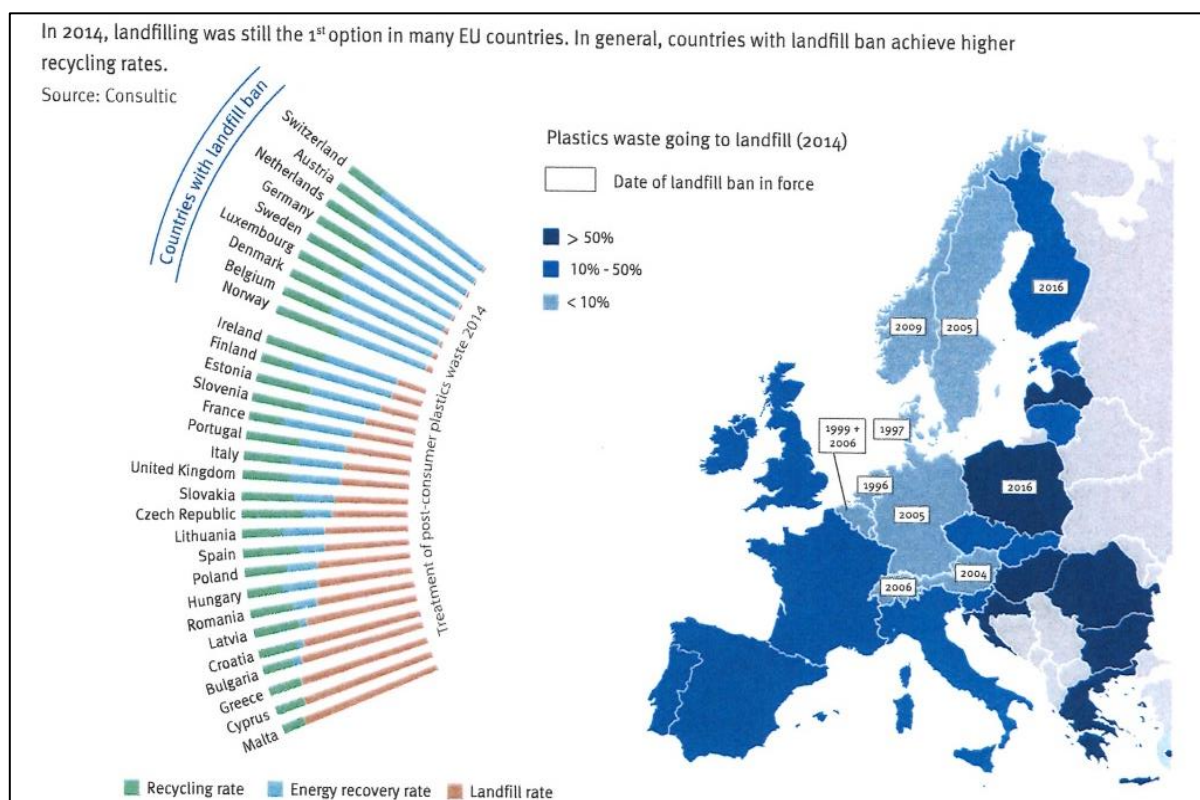


図17 ヨーロッパ各国のプラスチック廃棄物処理方法（2014年）と
埋立て処分禁止国の禁止年

出典：Plastics Europe（PEMRG）。

欧州や日本は、マテリアルリサイクルや焼却によるエネルギー回収（サーマルリサイクル）処理が多く埋立ては少ないが、世界的に見れば埋立ての比率が依然として高い。

埋立ては都市圏では用地の確保が難しく、行き場のないごみの発生や処理費の高騰を招く。これらは、ごみの不適切処理や不法投棄につながる。

埋立てを減らし、焼却やリサイクルを増やすことがプラスチックごみを減らす重要な対策である。

3 化粧用マイクロビーズの使用禁止とメーカーの対応

(1) マイクロビーズによる海洋汚染と使用禁止（規制）

マイクロビーズ¹⁹が、化粧品、歯磨き、ボディークレンジング剤など（以下、これら全体を化粧品と呼ぶ）のスクラブ剤（研磨剤）として使用される（図18）。マイクロビーズは球状のポリエチレン製のものが多く、またサイズは数十 μm ～数百 μm のことが多い²⁰。



図18 市販のスクラブ剤入り洗顔剤とマイクロビーズの写真

出典：環境省（参考文献(2)）。

スクラブ剤入り化粧品（図12では洗顔剤）は、使用後は洗浄水道水とともに下水に流れ込む。サイズが小さいので、廃水浄化設備があっても普通はろ過されず、海に流れ込んでしまう²¹。

マイクロビーズはサイズが小さくプランクトンや魚介類が摂食するので、問題が大きい。次に示すように、米国やイギリスはマイクロビーズの使用を禁止し、西欧と日本の業界団体は自主規制する緊急の措置を取った。

① EU加盟国であるオランダ、オーストリア、ベルギーおよびスウェーデンの4か国は2014年12月に化粧品へのマイクロビーズの使用を禁止する共同声明を発表した。

¹⁹ 日本では、マイクロプラスチックビーズと呼ばれる。プラスチックビーズと呼ばれることもある。

²⁰ Cosmetics Europeによれば、マイクロビーズのうちポリエチレンビーズが全体の93%を占め、粒径の主体は450～800 μm である。また、ヨーロッパの2012年の推定使用量は4,130トンである。

²¹ 先進国の改良された浄化設備はろ過で分離することができるが、その場合でも大雨など排水量が増えるとオーバーフローして海に流入してしまう。

② 米国では、2015年12月28日にオバマ大統領が、マイクロビーズを使用した洗顔、洗体用化粧品（歯磨きを含む）の製造を2017年7月1日より、販売を2018年7月1日より禁止する法律（U.S. Microbead-Free Waters Act of 2015）に署名した。

「マイクロビーズ」の米国連邦法の定義は、5mm以下の固形プラスチック粒子で、角質除去または洗浄の目的で使われるもの²²。

③ Cosmetics Europe（ヨーロッパ化粧品国際貿易協会）は、会員メンバーに2020年までに角質除去または洗浄用に使用される海洋環境では生分解性でない合成の固体プラスチック粒子（すなわち、マイクロビーズ）の販売を2020年までに中止することを勧告・推奨した（2015年10月）²³。

④ イギリスでは、政府が2017年末に化粧品用のマイクロビーズの使用を禁止にすることを発表した（2016年9月2日、www.theguradian.com）。

⑤ 日本化粧品工業連合会（JCIA）は2016年3月17日付でマイクロプラスチックビーズの使用中止に向けた速やかな対応を促す文書を会員企業（約1100社）に向けて発出した。

（2）国内化粧品メーカーの対応状況²⁴

国内化粧品メーカーも対応を行っており、各社のウェブサイトの記載内容をそのまま抜粋、転載する（2017年7月アクセス）。

① 花王の対応

『洗い流す化粧品や歯磨きなどに、角質除去や洗浄の目的でスクラブ剤が配合されているものがあります。そのスクラブ剤として使用されているもののうち、「マイクロプラスチックビーズ」について、近年、環境への影響が懸念されています。

花王グループの日本で販売している「ビオレ」「メンズビオレ」の洗顔料、全身洗浄料に使用しているスクラブ剤は、天然由来の成分（セルロース、コーンスターチ）を使

²² 5 millimeters or less in size, and intended to be used to exfoliate or cleanse the body or any part of the body.

²³ Building on this, in order to engage the whole of the Cosmetics Europe membership and facilitate sector wide best practice, on 21st October 2015, Cosmetics Europe recommended to its membership to discontinue, in wash-off cosmetic products placed on the market as of 2020: The use of synthetic, solid plastic particles used for exfoliating and cleansing (i.e. microbeads) that are non-biodegradable in the marine environment

²⁴ マイクロビーズは、日本ではマイクロプラスチックビーズと呼ばれることが多い。

用して花王が開発したものです。また、歯磨きの「クリアクリーン」の顆粒も、天然由来の成分で、いずれも、マイクロプラスチックビーズには該当しません。

ただし、ごく一部の洗い流すプレステージ化粧品、海外で販売している全身洗浄料のごく一部には、マイクロプラスチックビーズに該当する成分を使用していましたが、2016年末までにすべて代替素材に切り替えました』（花王のプレスリリース（2016. 5. 27）より²⁵⁾

② 資生堂の対応

『一部の消費者が洗浄料などに含まれるマイクロビーズの環境面への懸念をしていることを十分考慮し、2014年4月より開発した新しい洗浄料ではマイクロビーズを配合していません。

アメリカでは連邦法に従い、原料を完全に置換します（生産：2017/6/30まで、販売：2018/6/30まで）。

その他の地域の既発売の洗浄料については、商品特性などを考慮しながら遅くとも2018年までに切り替えを終了します。今後も法規制の有無にかかわらず、環境リスク等を考慮して必要と判断した場合には、速やかに代替物質へ切り替えていきます』（資生堂のホームページより（2017年7月アクセス）²⁶⁾

③ コーセーの対応

『コーセーグループでは、国際的な社会の関心に配慮して、2014年度に開発の新しい洗浄料からその配合を中止し、環境負荷の低い植物性原料などに置き換えるなどして発売しています。また、既存のマイクロプラスチックビーズを含む洗浄料も順次切替を進めており、遅くとも2017年12月迄に全ての出荷を終了することとしています』（コーセーのプレスリリースより（2016年7月28日）²⁷⁾

④ カネボウ化粧品の対応

『カネボウ化粧品では、ごく一部の洗い流すタイプへの化粧品に、マイクロプラス

²⁵⁾ <http://www.kao.com/jp/corporate/sustainability/environment/statement-policy/eco-friendly-products/plastic-microbeads/>

²⁶⁾ <http://www.shiseidogroup.jp/sustainability/env/management.html>

²⁷⁾ <http://www.kose.co.jp/company/ja/csr/theme2/commodity/>

チックビーズに該当する成分を使用していましたが、2016年末までにすべて代替素材に置き換えました』(カネボウ化粧品のホームページ (2017年7月アクセス) ²⁸⁾

(3) 海外化粧品メーカーの対応

① Cosmetics Europe (ヨーロッパ化粧品国際貿易協会) の対応

2017年1月27日に、同協会会員の調査を行い2015年のプラスチックビーズの使用量が2012年比82%減少したことを発表した²⁹⁾。2020年をデッドエンドとしてきたが、それよりも相当早く代替が進んでいることを示唆した。(Cosmetics Europeの発表要旨)

② ジョンソン アンド ジョンソン (J&J) の対応

『当社は、2013年に化粧品とパーソナルケア用品からマイクロビーズをグローバルに排除することを約束した最初の会社の一つである。2015年にマイクロビーズを使用しない第一次の配合製品を完成させた。米国の規制 (U.S. Microbead-Free Waters Act of 2015) とヨーロッパ化粧品国際貿易協会の推奨 (Recommendation) に従い、2017年末までにグローバルに全製品をマイクロビーズフリーとする』(J&Jホームページ (2017年7月アクセス) ³⁰⁾

③ L'Oréal (オレアル) の対応

2014年1月29日発表:『2017年までにスクラブ用ポリエチレンビーズの使用をやめることを決定した』(L'Oréalのプレスリリースより³¹⁾

2016年7月20日発表:『マイクロビーズの使用を80%やめることを完了し、2016年末には100%使用をやめてすべて新配合になる見通しである。代替物としては、パーライトやクレイのような無機物、果実の核にある仁 (fruit kernel) や天然ワックスのパウダーがある。これらを単独または混合して使用する』(L'Oréalのプレスリリースより³²⁾

²⁸⁾ http://www.kanebo-cosmetics.co.jp/company/csr/ecology_05.html

²⁹⁾ <https://www.cosmeticseurope.eu/news-events/reduction-use-plastic-microbeads>

³⁰⁾ <https://www.safetyandcarecommitment.com/Ingredients/Microbeads> (2017.2.2)

³¹⁾ <http://www.loreal.com/media/news/2014/jan/1%27or%C3%A9al-commits-to-phase-out-all-polyethylene-microbeads-from-its-scrubs-by-2017>

³²⁾ <http://www.loreal.com/media/news/2016/jul/phasing-out-plastic-microbeads>

④ P&Gの対応

『我々の目標（ゴール）は2017年までに磨き粉（クレンザー）と歯磨き粉からマイクロビーズを除くことである』（P&Gのホームページより（2017年7月アクセス）³³）

以上の化粧品メーカーはグローバルに事業展開しており、それらメーカーのマイクロビーズを使用した化粧品は欧米・日本だけでなく、世界で販売されているが、近々姿を消すものとみられる。

(4) マイクロビーズの代替品

上記のように化粧品メーカーはポリエチレンなどのマイクロビーズの代替品として天然物を挙げている。天然物は生分解性であり、海洋でも生分解するので望ましい。

また、別の代替物として、生分解性プラスチックが候補に挙げられている。生分解性プラスチックをマイクロビーズに使用することは各国の法律や規制上問題ないのであるうか。Cosmetics EuropeのRecommendationは「海洋環境では生分解性でない合成の固体プラスチック粒子（すなわち、マイクロビーズ）の使用を2020年までに中止することを勧告・推奨する」（脚注23）とあるので海洋環境で生分解性のあるプラスチックは使用できると解釈される。生分解性プラスチックメーカーのメタボリックス（米国）が既存のマイクロビーズ（ポリエチレンなど）を代替する生分解性プラスチックとしてPHA³⁴の販売活動を進めている。

マイクロビーズ用途はかなりの割合が海洋に流出する恐れがあること、使用量が少なく高付加価値用途であることから、高価な生分解性プラスチックが使用できる。

³³ <http://us.pg.com/our-brands/product-safety/ingredient-safety/microbeads>

³⁴ PHA（ポリヒドロキシアルカノエート）は細胞が産出する生分解性プラスチックである。PHAはPLA（ポリ乳酸）よりも生分解の速度が速い。生分解性プラスチックについては、本レポート（下）第2章参照。

4 マイクロビーズの用途とつくり方

4.1 マイクロビーズの用途

マイクロビーズは工業的にブラスト剤など幅広い用途に使用されているので、化粧品スクラブ剤のように海に流失することがないかが懸念される。

2016年度に経済産業省が実施した委託調査「平成28年度化学物質安全対策（マイクロプラスチック国内排出実態調査）報告書」が公表されている（実施機関 JFEテクノロジー株式会社）。これはマイクロビーズが化粧品以外のどんな用途に使われているか、そしてそこで漏出の可能性があるかを実態調査したものである。それによれば、スクラブ剤のようなマイクロビーズを洗い流して捨ててしまうような用途は見当たらない。ただし、すべての用途の各工程について漏出の可能性が指摘されている。

この調査報告書を基に、表7に用途、用途別に使用されているマイクロビーズのポリマー種（粒径、形態）、使用法をまとめた。

表7 プラスチックビーズの用途別使用法と漏出の可能性

用途名	使用目的・具体的用途	使用されるビーズのポリマー種（粒径、形態）	使用方法
工業用研磨剤 （ブラスト加工用）	ブラスト加工の投射剤 （やわらかい材料の研磨）	ナイロン・ポリカーボネート（0.4～1.2mm、円柱形）、 メラミン・ユリア・ポリカーボネート （150～850μm、多角形）、 ポリエステル（不明）	ブラスト加工（投射）時、 使用済みのビーズが発生 するので回収が必須
塗料	塗料基材にブレンドして 各種特性（防錆、光沢・ 色彩付与）を出す	ポリエチレン（6～600μm、真球）、 アクリル（0.1～150μm、真球）、 ポリアミド（5～10μm、真球、不定形）、 フッ素樹脂（0.3～30μm、不定形）	塗布後は塗料基材と 一体になる（塗膜中に 分散して固定）
粉体塗料	塗装	ポリエチレン、ポリ塩化ビニル、ナイロン、エポキシなど	粉体を塗布、加熱して 塗膜になる
化粧品用 マイクロビーズ	スクラブ剤（研磨剤） （角質除去など） 化粧品・歯磨き・洗浄剤	ポリエチレン（100～600μm、球形、不定形）など	化粧品使用後に洗い流 すため下水に入る
光拡散剤	光拡散板 光導光板（アクリル板） （液晶、照明用）	シリコン（0.5～40μm、球形）、 メラミン（1～15μm、球形）、 アクリル（0.1～150μm、真球）、 ポリスチレン（35～55μm、球形）	アクリル樹脂中に分散 させる
摺動部材	ビーズの状態で使用 摺動性改良	低分子量テフロン（PTFE）（0.3～30μm、不定形） 超高分子量ポリエチレン（10～30μm、球形）	使用時ビーズ、 最後どうなるか不明
衛生用品	高吸水性ポリマービーズ	ポリアクリル酸系（100～600μm、球形）	
土壌保水剤	顆粒状土壌保水剤	ポリアクリル酸系	
医療用検査材料	イムノアッセイ	ラテックス粒子（0.05～100μm） （ラテックス粒子に抗原を付けたもの）	抗体と結合して ラテックス粒子は凝集

出典：経済産業省「平成28年度化学物質安全対策（マイクロプラスチック国内排出実態調査）報告書」を
基に旭リサーチセンター作成。

表7に示すように、マイクロビーズの用途は化粧品用途を含め8つある。工業用研磨剤、塗料、光拡散剤などである。

マイクロビーズのポリマー種（粒径、形態）に関する表の項目は、どんなマイクロビーズが市販されているかまた使用されているかを知る上で貴重なデータである。ポリマー種としては熱可塑性プラスチックのポリエチレン、ポリスチレン、アクリル樹脂（ポリメチルメタクリレート）、ナイロン（ポリアミド）、ポリカーボネート、ポリエステルなどがあり、熱硬化性プラスチックとしてはメラミンやユリアなどがある。

明示されている粒径の範囲は、最小が0.05 μ m（50nm）で最大が1.2mmであり、マイクロオーダーのことが多い。形態は球形のことが多い。ナノオーダーのナノプラスチック粒子の安全性が懸念されているので、取り扱いに注意が必要である（45頁と本リポート（下） 1.5ナノプラスチック参照）。

調査報告書にはすべての用途のほとんどの工程に漏出の可能性があると指摘しているが、漏出の可能性のランク付けはされていない。

実際はマイクロビーズの使い方によって、漏出の可能性は異なるであろう。使用時にマイクロビーズが固定される塗料や光拡散剤については漏出の可能性は少ないと考えられる。

一方、大きな市場である工業用研磨剤（ブラスト加工）用途は、漏出の可能性は比較的高いと考えられる。ブラスト加工はビーズを研磨剤として使用するもので、ビーズはリサイクルが原則である（ブラスト加工時に粉砕されたビーズはダストとして回収される）。研磨剤のブラスト加工プロセスを図19に示す。このようなリサイクル中心のプロセスは、完全にクローズド化しないと漏出しやすい。粉体塗料も噴霧した粉体が100%塗装に使用されないので、噴霧後ブースに残った粉体を回収する必要がある。それで、ブラスト加工と同様、漏出の可能性があると考えられる。

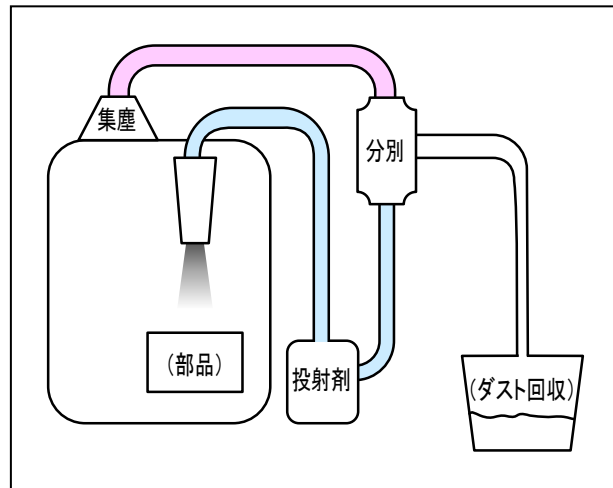


図19 ブラスト加工でのビーズ（マイクロプラスチック）の使用例

注：ビーズが投射剤に使用される。

出典：経済産業省「平成28年度化学物質安全対策（マイクロプラスチック国内排出実態調査）報告書」。

4.2 マイクロビーズなどのつくり方

ポリマー製品の形態としては、ペレット、マイクロビーズ、パウダー、ファイバーなどがある。ここでパウダーはビーズと同じ粒子だが、密度が真密度より低い多孔性粒子をパウダーと定義した。

ペレット、マイクロビーズ、パウダーは漏出すれば、いずれも海のプラスチックごみである一次的マイクロプラスチックになる。また、合成繊維のファイバー（フィラメント）も断面積が小さいので、短いものは一次的マイクロプラスチックになる。

製品形態（ペレット、マイクロビーズ、パウダー、ファイバー）は実は重合プロセスで決まってしまう。そして、重合プロセスは、重合方式（ラジカル重合、配位重合など）で決まってしまう。したがって、ポリマーをつくる触媒や重合方式が発見されると、それに最適なプロセスが選択され、ほぼ自動的に製品形態が決まってしまう。

表8に、代表的なポリマーの工業的な重合方法、重合プロセス、重合時と最終製品の形態をまとめた。

表8 代表的ポリマーの工業的な重合法・重合プロセスと製品形態

分類	ポリマーの種類	重合法	重合プロセス	重合時の形態	製品形態 P:ペレット
熱可塑性プラスチック	低密度ポリエチレン (LDPE)	ラジカル重合 (高温、高圧)	バルク熔融重合	熔融ポリマー	P
	線状低密度ポリエチレン (LLDPE)	配位重合	溶液重合	ポリマー溶液	P
			気相重合	パウダー	Pとパウダー
	高密度ポリエチレン (HDPE)	配位重合	スラリー重合	パウダー	Pとパウダー
			溶液重合	ポリマー溶液	P
			気相重合	パウダー	Pとパウダー
	ポリプロピレン (PP)	配位重合	バルク(スラリー)重合	パウダー	Pとパウダー
			溶液重合	ポリマー溶液	P
			気相重合	パウダー	Pとパウダー
	ポリスチレン (PS)	ラジカル重合	バルク熔融(溶液)重合	熔融ポリマー	P
	ポリ塩化ビニル (PVC)	ラジカル重合	懸濁重合	ビーズ	Pとビーズ
			懸濁重合	ビーズ	Pとビーズ
繊維	ポリメチルメタクリレート (PMMA: アクリル樹脂)	ラジカル重合	懸濁重合	ビーズ	Pとビーズ
			バルク熔融重合	熔融ポリマー	P
	ポリアミド樹脂 (N6、N66) ポリエステル樹脂 (PET)	重縮合	溶液重合	熔融ポリマー	P
			熔融重合一固相重合	ペレット	P
合成ゴム (加硫ゴム)	スチレンブタジエンゴム (SBR)	ラジカル重合	溶液重合	乳化する	ペール (25kg)
		アニオン重合	溶液重合	ポリマー溶液	
熱硬化性プラスチック	ポリウレタン(PUR) メラミン フェノール樹脂	重縮合	2種以上のモノマー溶液と架橋剤を混合し、成形と同時に硬化		

注：Pはペレットの略、ビーズはマイクロビーズの略。

出典：各種資料より旭リサーチセンターが作成。

重合方法としては、ラジカル重合、配位重合、重縮合、アニオン重合がある。

また、重合プロセスには熔融重合、溶液重合、気相重合、スラリー重合、懸濁重合（ビーズ重合）、固相重合、乳化重合があり、それによって重合時や最終製品のポリマー形態が決まる。まず、熔融（バルク）重合と溶液重合ではペレット形態が普通である。そして、乳化重合、懸濁重合（ビーズ重合）、スラリー重合、気相重合では重合時に粒子状のものを得ることができる。乳化重合が最も小さい粒径のものをつくることができる。懸濁重合はビーズ重合といわれるように真密度に近い球形のビーズを得るよい方法である。ポリスチレンビーズ、ポリメチルメタクリレート（アクリル樹脂）ビーズ、ポリ塩化ビニルビーズをつくることができる。例えば、粒径35～55 μm の球状ポリスチレンビーズや粒径0.1～150 μm の真球状のアクリル樹脂ビーズが製品化されている（表7参照）。ビーズは特殊用途に使用される。

なお、ポリスチレンなどのマイクロビーズ（サイズ：最小20nm～1mm）を使って、海洋生物のマイクロプラスチック摂食実験が行われている。

スラリー重合と気相重合で得られるパウダーは、球形のものが多く密度が低い。例えば、スラリー法ポリエチレンのパウダーの密度は約0.5g/ccである。

製品形態はペレット（1～5mmサイズの球形または円柱状）が一般的であるが、一部パウダーやビーズでも出荷される。ポリエチレンやポリプロピレンのパウダーはペレット化のエネルギーを節約できるメリットがあるので工業化されている（輸送時かさばるので一部メリットが相殺される）。

表7に示すように、重合でポリエチレンやポリプロピレンのマイクロビーズをつくることはできない。懸濁重合や乳化重合によってポリエチレンやポリプロピレンをつくるのが困難か、不可能なためである。

化粧品用に使用される密度の高いポリエチレンやポリプロピレンの球状ビーズは重合以外の方法で作られているものと考えられる。例えば、特許情報（住友精化 特許番号 5656844、W02011027818）に空隙のない真密度の球状ビーズをつくる方法が開示されている。ポリエチレンと少量のエチレンオキシド/プロピレンオキシド共重合体の水の分散体をポリエチレンの融点以上に加熱混合し、水中にポリエチレンの球状融液をつくり、これを冷却して球状ポリエチレンをつくる方法である。実施例の粒径は、3～50μmである。

熱硬化性プラスチックは通常2つの液体原料と架橋剤を混合して、反応と同時に成形する。したがって、製品形態は液体である。前述のように、食器洗いのメラミンスポンジが摩耗すると一次的マイクロプラスチック発生の原因になるといわれている。

合成ゴム（生ゴム）は直方体のベールが製品形態である。これに補強剤としてシリカやカーボンブラックを混合して架橋してタイヤやゴム製品が作られる。前述のように、車の走行時、タイヤが磨耗してできる微細な破片が空気中で舞って、一部が海に落ちて一次的マイクロプラスチックになる。これも問題視されている。

5 海の環境とプラスチックの光分解反応

5.1 海の環境とプラスチックごみの挙動

(1) 浮遊するプラスチックと海底に沈むプラスチック

前述のように、ポリマーの密度により、海水中でペレットや加工品が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、アクリル樹脂、ポリエステル、ポリアミド、熱硬化性プラスチックに分かれる。海水中で浮くプラスチックのほうが量的に多い。なお、ポリエステル製の空ペットボトルは、キャップがしてあれば、海水中で浮く。

ポリエチレンなどの海洋で浮遊する漂流プラスチックは、漂流中に表面が有機物（藻など海洋生物）や無機物でコーティングされ、全体の密度が高くなり沈むことがよくある。沈むと紫外線が当たることは極めて減少する。ただし、沈んだものの表面がはがれ、きれいになり（表面に付着した海洋生物のはく離や死滅など）、再度浮上することも多いという（図20）。また、海洋の表層、中間層、海底の間で海水は常に移動している。

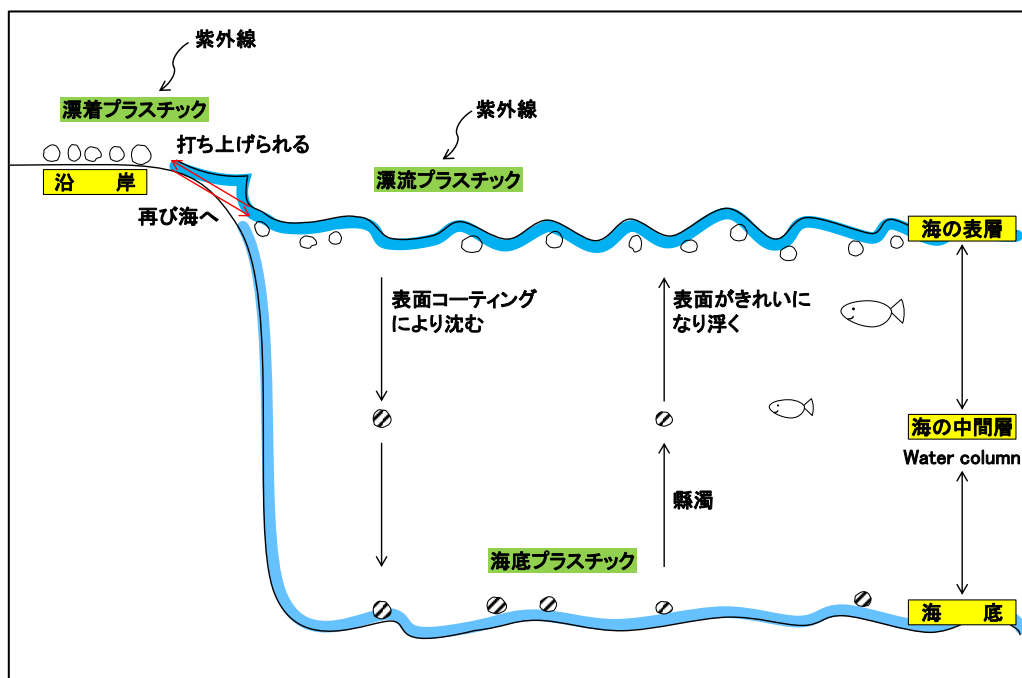


図20 海洋の構造とポリエチレンごみの挙動

出典：GESAMPとUNEP資料（参考文献(5)、(6)、(8)）を参考に旭リサーチセンター作成。

(2) 海洋環境とポリマーの崩壊・細片化

海洋に流出したプラスチック成形品（レジ袋、シート、ボトル、容器など）は、漂着した海岸や漂流中に紫外線を浴びてポリマー分子鎖が切断して低分子量化する（紫外線による光分解反応）。これに波動などの物理的力が加わるとプラスチック成形品は崩壊して細片化する。

海岸や海の表層は紫外線が強く、酸化剤であるオゾンも存在するのでこの光分解反応は起きやすい。一方、海中（海洋中間層：Water Column）は紫外線が弱くなり、酸素濃度が低く、温度も海岸に比べ低い。したがって、海洋中間層で光崩壊が起こる確率は、海岸や海洋の表層に比べてはるかに低い。さらに海底では紫外線は届かず、酸素濃度は低く、温度は特に低いので、光崩壊は起こりにくい（表9）。

表9 陸地と海洋の環境条件の比較

		紫外線	酸素濃度	温度	光分解速度
陸地	陸地(屋外)	標準	普通	普通	標準
	海岸	強い	普通、オゾンあり	高い(光線のため)	標準
海洋	海洋表層	強い	普通、オゾンあり	低い	遅い
	海洋中間層 (water column)	弱い	低い(酸素の水への溶解度は小さい)	表層より低い	非常に遅い
	海底	非常に弱い	低い(酸素の水への溶解度は小さい)	低い	極端に遅い

出典：参考文献(5)と(7)を参考に旭リサーチセンター作成。

(3) マイクロプラスチックによる海水中の汚染物質の吸着

都市周辺の海水中や海底の沈積物中には、極微のPCBがある。これをポリエチレン、ポリプロピレン、ポリスチレンは0.1～1ppm程度吸着する。これは、PCBとこれらのポリマーがともに疎水性なためである。疎水性～親水性の指標の一つとして、ポリマーの吸水率がある。

(4) 各種ポリマーの性能

表10に各種ポリマーの基本特性（結晶性（結晶融点）と非晶性（ガラス転移温度）の分類）、密度、紫外線による光分解、水分吸収率、有害あるいはその疑いのある汚染物質の含有についてデータを集めた。密度から海水中で浮くか沈むかがわかり、水分吸

収率からPCB吸着性がわかる。炭化水素系ポリマー（PE、PP、PS、発泡PS）は光に不安定なCH結合をもつので、紫外線による光分解性がやや高い。

一方、有害な、あるいはその疑いがある化学物質を練り込んだ樹脂が海洋に持ち込まれている。一つはポリ塩化ビニルのフタル酸エステル系可塑剤（DOPなど）であり、もう一つはポリスチレンやポリプロピレン用に使われた難燃剤（PBDEs：ポリ臭化ビフェニル）である。

表10 各種ポリマーの基本特性と海洋に関する特性

分類	ポリマー名	結晶性 非晶性 T _m 、T _g (°C) (熱特性)	密度 g/cc (海水中の浮遊性)	紫外線による 光分解性	水分吸収率 % (PCB吸着性)	有害、もしくは その疑いのある 樹脂添加剤
熱可塑性 プラスチック	低密度ポリエチレン (LDPE)	結晶性 T _m 104~118	0.91~0.93	やや高い	<0.015	難燃剤(PBDEs) (難燃グレード)
	線状低密度ポリエチレン (LLDPE)	結晶性 T _m 120~127	0.91~0.93	やや高い	na	
	高密度ポリエチレン (HDPE)	結晶性 T _m 127~132	0.94~0.965	やや高い	<0.01	
	ポリプロピレン (PP)	結晶性 T _m 167~170	0.90~0.92	やや高い	<0.01	
	ポリスチレン (PS)	非晶性 T _g 94	1.04~1.09 (発泡体0.01~)	やや高い	0.03~0.05	
	ポリ塩化ビニル (PVC)	非晶性 T _g 81	1.16~1.45 (軟質~硬質)	あり	0.3~0.5	可塑剤(DOP) (軟質PVC)
	ポリメチルメタクリレート (PMMA:アクリル樹脂)	非晶性 T _g 100	1.17~1.20	耐候性が 最も優れる	0.3~0.4	
	ポリエステル樹脂(PET)	結晶性 T _m 270	1.34~1.39	あり	0.1~0.2	
	ポリアミド樹脂(PA) N6、N66	結晶性 T _m 225、265	1.13~1.15	あり	N6 3.5 N66 2.5	
合成 繊維	ポリエステル繊維(PET)	結晶性	1.34~1.39	あり	0.1~0.2	
	ポリアミド繊維(N6、N66)	結晶性	1.13~1.15	あり	3.5、2.5	
合成 ゴム	スチレンブタジエンゴム (SBR)	非晶性 T _g -45	0.94 (生ゴム)	特に高い (二重結合をもつ)	na	
	ポリブタジエン (BR)	非晶性 T _g -95~-100	0.9 (生ゴム)	特に高い (二重結合をもつ)	na	
熱硬化性 プラスチック	ポリウレタン (PUR)	非晶性	1.1~1.5	あり	0.2~1.5	
	メラミン	非晶性	1.48	あり	na	
	フェノール樹脂	非晶性	1.21~1.50	あり	na	
備考			海水密度 1.03 (黄色地:浮遊性)	黄色地は特に 紫外線に弱いもの	黄色地はPCB の高い吸着性	

注：na はデータが得られなかったことを示す。黄色地は海洋プラスチックごみに関係が深いもの。

出典：各種資料より旭リサーチセンターが作成。

5.2 プラスチックの光分解反応とマイクロプラスチックの運命

(1) プラスチックの光分解反応

ポリエチレンは海洋プラスチックごみのなかで最も多いプラスチックである。ポリエチレンは海中で浮遊し、海洋の表層を漂流したり沿岸に打ち上げられるので、紫外線による光分解を受け細片化する。これが繰り返えされれば、より細片化すると考えられるが、自然の海の中ではナノプラスチックの存在は確認されていない。現在確認されている最小粒径は数十 μm 程度のマイクロプラスチックである³⁵

海洋中でポリエチレンが崩壊する経路や、最終的に何になるかを示す証拠はなく、マイクロポリエチレンの運命はほとんどわかっていない。永遠にポリエチレンの形で海に残るのか、低分子の有機化合物になるのかもわかっていない。それがわかれば、マイクロプラスチックの問題のとらえ方が大きく変わる。

なお、同じ炭化水素ポリマーであるポリプロピレンと発泡ポリスチレンも同じ状況にある。

わかっていることは、ポリエチレンは酸素存在下紫外線に照射されると高分子鎖が切断され、これが繰り返えされると分子量が低下していくことである。ある分子量以下になると、ポリエチレンは力学強度を失う。力学強度を失う分子量は高分子鎖の絡み合いに関係している。ポリエチレンの場合は、平均分子量3万～4万程度といわれる。

(2) モデル計算によるポリエチレンの運命（イメージ）

以下、海洋中のポリエチレンの運命のイメージをつくるため、反応の進行をモデル計算で推定した。計算を簡単にするため反応が理想的に進むと仮定した。

まず、光分解でできた水酸基、ケトン基、アルデヒド基などは酸化環境下に引き続き置かれるので、最終的に酸化されてカルボキシル基になると仮定した。また、分子量の変化を数平均分子量（以下、平均分子量）で扱った。

ここで、分子量が25万のポリエチレンが紫外線照射により、ポリマー鎖が1回切断

³⁵ GESAMP リポートNo. 90、64頁（2015）（参考文献(5)）。

するとすれば平均分子量は12万5000まで低下する。2回切断が起これば、平均分子量は6万2500まで低下し、3回切断すれば3万1250まで低下する。平均分子量が3万程度になると力学強度を失い、波動などの力が加わると崩壊し、細片化する³⁶。

1分子にn回の切断が起これば、平均分子量は $250000/2^n$ になる。9回切断が起これば、平均分子量は488になり、これはC35のポリエチレンワックス（一つの用途はろうそく）と同じくらいの分子量となる。10回切断が起これば、平均分子量は約244となる（表10）。分子量244はCH₂が約18個つながったものになる。切断により、両末端がカルボキシル基になったとすると分子式は、H₂OOC-(CH₂)₁₆-COOHになる。これは、ポリエチレンとはいわず、高級脂肪酸に近い構造である。天然の油脂から製造される代表的な脂肪酸であるステアリン酸の構造式はCH₃-(CH₂)₁₆-COOHである。ステアリン酸カルシウムは食品添加物である。ポリエチレンもH₂OOC-(CH₂)₁₆-COOHまで分解すれば、生分解するであろう。

これらの経過を表11に示す。分子切断が進むにつれて、分子量が減少し、官能基比率が増加し、極性が高まる。したがって、低分子量化が進むと同時に、疎水性から親水性に少しずつなる。

表11 ポリエチレンの分子切断回数による分子量と官能基比率の変化（計算値）

ポリエチレン 切断回数	ポリエチレン C(炭素)数	数平均 分子量	官能基比率 (%)	備考
(切断前)	17,860	250,000	0	切断前の元ポリマー
1	8,930	125,000	0.07	機械的強度がなくなる分子量
2	4,464	62,500	0.1	
3	2,232	31,250	0.3	
4	1,164	15,630	0.6	
5	558	7,810	1.2	
6	279	3,910	2.3	
7	136	1,950	4.6	
8	70	980	8.6	
9	C35	488	16.3	硬質ワックス(ろうそく): C35以上 中質ワックス(ろうそく): C24~C35
10	C18	244	29.2	ディーゼル油: C12~C18 ガソリン: C5~C11
ステアリン酸	18	283	15.9	ステアリン酸は参考

注：官能基比率は (COOH) × 2の分子量/ポリマー分子量 × 100 (%)。

出典：各種資料より旭リサーチセンターが作成。

それでは、1分子が10回切断を受けるには、どれくらいの時間がかかるのでしょうか。

³⁶ Oxo-biodegradable associationによれば、平均分子量4万で力学強度を失う。
http://www.biodeg.org/files/uploaded/biodeg/Timescale_for_Degradation.pdf

図21は、ポリエチレンの光分解時の分子量と粒径サイズの変化を推定したイメージ図である。厚み20 μm で30cm $\times$ 30cmのポリエチレンフィルムをサンプルとして、平均分子量変化とサイズの変化を考えた。サイズの変化は分子量と機械的な力に依存することはわかっているが、モデル実験などの科学的知見はなく全くのイメージである。自然界では、ともかく図21のように平均分子量と粒径サイズが連動して減少していき、途中で平均分子量が低く、官能基をもったナノプラスチックが生成する。

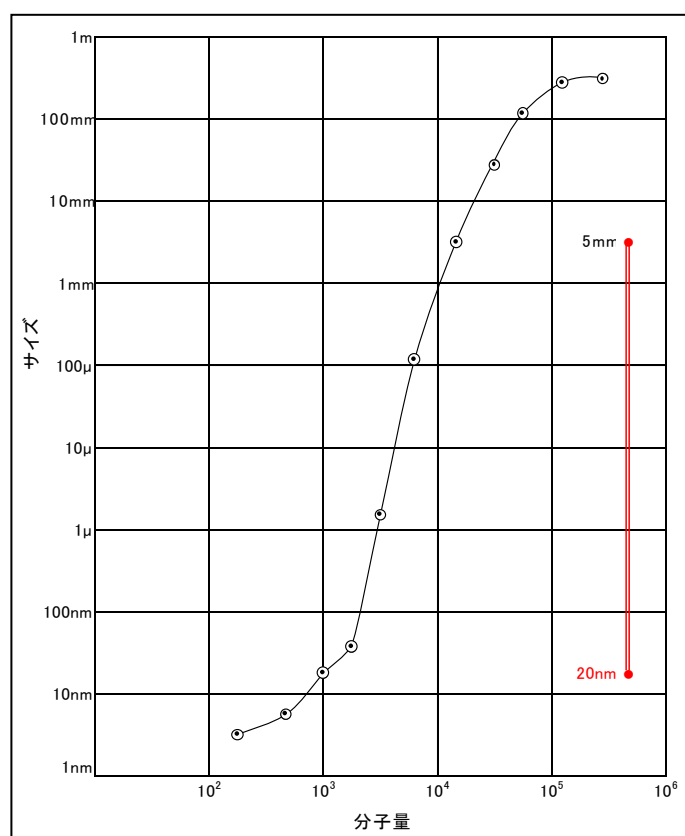


図21 光崩壊ポリエチレンの分子量と粒径サイズの変化（イメージ）

注1：赤字は、実験室的に海洋生物の摂食試験に用いられているマイクロプラスチック粒子サイズの範囲（20nmは使用された最小の粒子）。

出典：各種資料より旭リサーチセンター作成。

現在、海洋生物に数十nmのナノプラスチックを摂食させると、ナノプラスチックが海洋生物の細胞膜を通過することが実験室的に明らかになり、重大な生物学的影響が懸念されている（ただし、前述のように、自然の海の中ではナノプラスチックの存在は確認されていない。現在確認されている最小粒径は数十 μm 程度である）。このため、マイ

クロプラスチックの粒径とこれを摂食した生物への影響との相関に関心が集中しているが、マイクロプラスチックの粒径だけでなく、分子量や官能基も考慮に入れるべきだと考えられる。

今回の計算からは、自然界で生成するナノプラスチックは、分子量が低く、官能基が導入されて極性が高くなっていると予想される。自然界のナノプラスチックを採取して、サイズ、分子量、官能基を調べるとともに、生物学的影響を調べる必要がある。

図18の赤線で示すように、現在、海洋生物のマイクロプラスチック摂食試験（実験室実験）では通常の高い平均分子量を持つ5mmから最小20nmの粒子が使用されている。

このモデル計算のように、ポリエチレン（ポリプロピレン、ポリスチレンを含む）が海洋中で時間はかかるが最終的に有機化合物になり、生分解することが証明されれば、マイクロプラスチックの蓄積は少なくなる。

そのために、海水のマイクロプラスチック、ナノプラスチック、分解有機化合物の解析と分解反応のシミュレーションにより科学的証拠を固めることが重要である。

6 海洋プラスチック問題に対する国際的取組み

6.1 国連、G7首脳会議（サミット）などの取組み

(1) UNEP（国連環境計画）

国連の海洋環境についてはUNEP（United Nations Environmental Programme：本拠地ナイロビ）が担当している。

(2) NOWPAP（North-west Pacific Action Plan：北西太平洋地域海行動計画）³⁷

国連（UNEP）は海洋の環境問題に永年取り組んでいる。具体的には、世界の海を地域ごとに18の海域（「地域海」という）に分け、それぞれ海を共有しあう国々の間で、相互に協力しながら海洋の環境問題に取り組んでいる。日本が関連する地域海は「北西太平洋」の海域に属する。

1994年9月に、日本海及び東シナ海を共有しあう日本、韓国、中国、ロシアの4か国が集まりNOWPAPが承認された。4か国間で海洋の環境保全に関してさまざまな取組みが行われてきたが、2000年ごろから新たに「海洋ごみ」問題が取り上げられるようになり、海洋ごみの実態調査や対策等の検討が行われるようになった。

(3) 国連会議

マイクロプラスチックの問題が表面化してから国連の動きは本格化した。

まず2012年の「持続可能な開発に関する国連会議（Rio+20）」において海洋ごみの問題が取り上げられた。2014年に初めて開催された第1回国連環境総会（UNEA1：United Nations Environmental Assembly 1）において、総会決議の一つとして、「海洋プラスチック廃棄物及びマイクロプラスチック」に関する決議が採択された。さらに2015年9月にニューヨークで開催された「国連持続可能な開発サミット」で、成果文書として「われわれ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

³⁷ http://www.nowpap.org/main_j.php
<http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/kankyo/kanon/nowpap.html>

れた。このアジェンダは2030年までの17の目標と下位目標168のターゲット（下位目標）からなる「持続可能な開発目標（SDGs：Sustainable Development Goals）」に関するものであった（図22）。



図22 国連のSDGsのロゴマーク（14番目のSDG14が海洋関係である）

出典：国連。

このうちの14番目の目標（SDG14）は「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」である。下位目標のターゲットの14.1は「2025年までに、海洋ごみや富栄養化を含む、特に陸上活動による汚染など、あらゆる種類の海洋汚染を防止し、大幅に削減する」、14.3は「あらゆるレベルでの科学的協力の促進などを通じて、海洋酸性化の影響を最小限化し、対処する」、14.4は「水産資源を、実現可能な最短期間で少なくとも各資源の生物学的特性によって定められる最大持続生産量のレベルまで回復させるため、2020年までに、漁獲を効果的に規制し、過剰漁業や違法・無報告・無規制（IUU）漁業及び破壊的な漁業慣行を終了し、科学的な管理計画を実施する」³⁸などである。

2016年5月には、第2回国連環境総会（UNEA2）がナイロビで開催され、決議として、「海洋プラスチックごみおよびマイクロプラスチック」が採択された。それには、モニ

³⁸ <https://www.unicef.or.jp/sdgs/target.html>

タリング手法の標準化、マイクロプラスチックの一層の調査、マイクロビーズの利用削減が盛り込まれている。

2017年6月には「持続可能な開発目標（SDG）14実施支援国連会議」がニューヨークで開かれた。SDG14は、上記の「海洋・海洋資源の保全および持続可能な利用」である。日本代表は14.1の海洋ごみ、14.3の海洋酸性化、14.4持続的漁業などについて日本の見解と日本がコミットする11の件名を登録した³⁹。

（4） ICP17（第17回の海洋および海洋法に関する国連非公式協議プロセス）

2016年6月にニューヨークで開かれ、日本からは東京農工大学の高田秀重教授が参加した。第17回のテーマは「海洋ごみ、プラスチックおよびマイクロプラスチック」で、海洋ごみの環境的、社会的および経済的な側面、海洋ごみ削減への取組みなどについて議論された。

（5） 国連（関連）機関の調査・アセスメント

UNEPなどの機関が支援している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）が、海洋環境保護のために科学データの集約と評価を行いアセスメントを発表している⁴⁰。このうちのワーキンググループ40（WG40）はマイクロプラスチック問題を担当している。海洋に関する幅広い科学・技術の世界中の専門家が集まっており、日本からは東京農工大学の高田秀重教授がメンバーで参加している。

³⁹ http://www.mofa.go.jp/mofaj/ic/ge/page25_000851.html

1 APECプロジェクト海洋観測と科学的根拠に基づく持続可能な海洋ガバナンスワークショップの開催、2 大洋州地域廃棄物管理改善支援プロジェクト（フェーズ2）、3 コーラル・トライアングルにおけるブルーカーボン生態系とその多面的サービスの包括的評価と保全戦略、4 沿岸・海洋資源管理アドバイザー派遣、5 アジア太平洋3R推進フォーラムの開催、6 アフリカきれいな街プラットフォーム・プログラム、7 マイクロX線CTを用いた炭酸塩骨格密度測定技術の国際標準化に向けた取組み、8 SDGs14に向けた海洋観測網の拡充のための取組み、9 SDG14に貢献する海洋生物や海ごみに関するデータの公開・共有・利用に向けた取組み、10 北西太平洋地域海行動計画（NOWPAP）を通じた海洋環境保護活動の実施、11 日中韓3か国環境大臣会合（TEMM）を通じた海洋ごみ管理活動の取組み

⁴⁰ GESAMPの支援団体は、IMO（International Maritime Organisation）、FAO（Food and Agriculture Organisation of United Nations）、UNESCO-IOC（Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO）、WMO（World Meteorological Organisation）、UNIDO（United Nations Industrial Development Organisation）、IAEA（International Atomic Energy Agency）、UN（United Nations）、UNEP（United Nations Environment Programme）、UNDP（United Nations Development Programme）である。

ワーキンググループ40（WG40）は、2015年4月にGESAMPレポート90「海洋環境におけるマイクロプラスチックの発生源、運命、影響：グローバルアセスメント（Ⅰ）」を発表した（全96頁で、そのうち文献リストが28頁である。引用文献数約500件）。さらに翌年2016年6月に続編のGESAMPレポート93「海洋環境におけるマイクロプラスチックの発生源、運命、影響：グローバルアセスメント（Ⅱ）」を発表した（全217頁で、そのうち文献リストが30頁である）。

UNEP自身もレポートを発表しており、2015年4月に「生分解性プラスチックと海洋ごみ」を発行している。また2016年6月に「海洋プラスチックごみとマイクロプラスチック」の膨大なレポートを発表した（全252頁で、そのうち文献リストが13頁）。このレポートには、GESAMPレポート90と93が随所に引用されている。GESAMPが専門的レポートであるのに対して、UNEPのレポートはより範囲が広く一般的である。なお、これらGESAMPとUNEPのレポートの編集者は共通していて、Dr. Peter Kershaw（Independent Consultant）⁴¹である。また、GESAMPとUNEPのレポートにはアセスメントを基にしたRecommendation（推奨・勧告）が記載されている。

（6） G7首脳会議（サミット）

2015年6月にエルマウ（ドイツ）で開かれたG7エルマウサミットにおいて、首脳宣言の中で海洋問題が取り上げられ、また首脳宣言附属書「海洋ごみ問題に対するためのG7行動計画」がだされた。

首脳宣言の「海洋環境の保護」に関する一節には、「我々は、海洋及び沿岸の生物と生態系に直接影響し、潜在的には人間の健康にも影響し得る海洋ごみ、特にプラスチックごみが世界的課題を提起していることを認識する。したがって、海洋ごみ問題に対処し、この動きを世界的なものとするため、より効果的で強化された取組みが求められる。G7は、陸域及び海域に由来する海洋ごみの発生源対策、海洋ごみの回収・処理活動並びに教育、研究及び啓発活動の必要性を強調しつつ、附属書に示された、海洋ごみ問

⁴¹ イギリス人でイギリス在住、大学の専攻は地質学、海洋環境保護に関するコンサルタント、2008年より国連のindependent science advisor、<http://www.pjkershaw.com/projects.html>

題に対処する上で優先度の高い活動と解決策にコミットする⁴²」と述べられている。

また、「附属書：海洋ごみ問題に対処するためのG7行動計画」には、全体原則、陸域を発生源とする海洋ごみに対処するための優先行動、海域を発生源とする海洋ごみに対処するための優先行動、教育、研究及び啓発活動に関する優先行動の各項目について行動計画が詳細に記されている。

2016年5月に日本で開かれたG7伊勢志摩サミットでは、前年のエルマウサミットの首脳宣言の「海洋ごみ問題」に対処することが再確認された。G7富山環境大臣会議では前年サミットで出された「G7行動計画」およびその効率的実施について再確認するとともに、G7として各国の状況に応じ、優先的施策の実施にコミットした。また、同時期に行われた茨城・つくば科学技術大臣会合では、海洋ごみの規模や影響をよりよく把握するための科学的活動の重要性を確認した。

2017年6月に行われたボローニャ環境大臣会議では、エルマウサミットの「G7行動計画」をさらに実施する決意を表明した。プラスチックおよびマイクロプラスチックに対する懸念を改めて表明し、地球規模の脅威との戦いに対するコミットメントを再確認した。

(7) ダボス会議（世界経済フォーラム）

2016年1月に開かれた会議で、海洋ごみ問題の深刻さからプラスチックの使用を見直す報告書「The New Plastics Economy」が発表された⁴³。世界のプラスチックの生産量は2014年に3億1100万トンに達し、毎年少なくとも800万トン分のプラスチックが海に流出している。2050年までに海のプラスチックの量は、魚の量を上回るというショッキングな予想をした。本報告書（The New Plastics Economy）はプラスチックの循環社会を提案している。

(8) プラスチック業界

1993年に日本プラスチック連盟などプラスチック関連団体は、河川、海洋のプラス

⁴² http://www.mofa.go.jp/mofaj/ecm/ec/page4_001244.html

⁴³ The New Plastics Economy—Rethinking the future of plastics(2016. Jan. World Economic Forum)
http://www3.weforum.org/docs/WEF_The_New_Plastics_Economy.pdf

チックごみ対策として「プラスチックペレット漏出防止マニュアル」を作成し、会員企業にその遵守を求めた。国際的には、同様なものが2011年に「Marine Litter Solutions（海洋ごみ問題解決のための世界のプラスチック業界団体の名前）の宣言⁴⁴」が発表された。35か国の69団体が宣言に署名した。日本プラスチック連盟も加盟している。

6.2 法的規制

(1) ロンドン条約

ロンドン条約およびロンドン条約96年議定書の概要（環境省⁴⁵）

正式名称；1972年の廃棄物その他の物の投棄による海洋汚染の防止に関する条約

目 的；海洋投棄による海洋の汚染を防止すること。

経 緯；1972年11月に採択され、1975年8月に国際発効。わが国は、1973年に署名し、1980年10月に批准書寄託、同年11月に国内発効。その後の世界的な海洋環境保護の必要性への認識の高まりを受けて、1993年11月に附属書ⅠおよびⅡが改正され、1994年2月20日から発効した。同改正により、1996年1月1日から、産業廃棄物の海洋投棄は、原則禁止となった。

わが国では、同条約の求めるところを「海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律」（以下「海防法」と略す）および「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」（以下「廃掃法」と略す）に盛り込み、廃棄物の海洋投入処分等の適切な管理を行ってきた。

条約の概要；本文、3つの附属書および付録からなる。

(2) IMO（国際海事機関）のマルポール条約（MARPOL Convention）

マルポール条約の附属書Ⅴは、船舶からの廃棄物による海洋汚染の防止のための規則

⁴⁴ <https://www.marinelittersolutions.com/about-us/joint-declaration/>
<https://www.plasticpackagingfacts.org/resources/progress-report-2016-declaration-global-plastics-associations-solutions-marine-litter/>

⁴⁵ https://www.env.go.jp/council/toshin/t063-h1506/ref_01.pdf

である。改定の附属書Vが2013年1月に発効した。これにより、いかなるタイプの船舶（固定または浮いている、商業船からヨットなどのレジャー用船舶までのすべてを含む）から廃棄物を海洋に廃棄することを禁じている。詳細はUNEPリポート（参考文献(8)10頁参照）。

表 12 海洋プラスチック問題に対する国際的取組み（年表）

年	月	項目	内容
1996	1	ロンドン条約改定	産業廃棄物の海洋投棄原則禁止。
1997		チャールズ・モア (海洋環境調査研究者)	北太平洋の巨大ごみベルトに遭遇した。のちに単行本『プラスチックの海』発行。
2012		持続可能な開発に関する 国連会議(Rio+20)	海洋ごみ問題が取り上げられる。
2013	1	マルポール条約	附属書V改定の発効:すべての船から廃棄物を海洋に投棄することを禁止。
2014	6	UNEA1(第1回国連環境総会) ナイロビ	総会決議の一つとして「海洋プラスチック廃棄物およびマイクロプラスチック」に関する決議が採択された。GESAMPのアセスメント活動を評価。
2015	4	GESAMPリポート(No.90)発行 国連UNEPがリポート発行	「海洋環境におけるマイクロプラスチックの発生源、運命、影響」に関するアセスメント(Ⅰ)。「生分解性プラスチックと海洋ごみ」。
	6	G7・エルマウサミット	首脳宣言のなかで海洋ごみ問題が取り上げられる。 首脳宣言附属書「海洋ごみ問題に対するためのG7行動計画」。
	9	国連持続可能な開発サミット (ニューヨーク)	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。アジェンダは17の目標と169のターゲットからなる「持続可能な開発目標(SDGs)」。
	12	米国マイクロビーズ禁止	オバマ大統領が禁止の法律に署名。
2016	1	ダボス会議	2050年までに海洋中に存在するプラスチックの重量が魚の重量を超過するとの試算提出。
	3	日本マイクロビーズ自主規制	日本化粧品連合会がマイクロビーズ使用中止の指示文書を出す。
	4	日中韓3か国環境大臣会合 (TEMU)	TEMU18(静岡)において、海洋ごみに関するワークショップと実務者会合を毎年開催し、各国の政策および参加国の研究成果の情報交換を行うことで合意した。
	5	G7・伊勢志摩サミット G7・富山環境大臣会合	海洋ごみに対処することを再確認 ①各国の状況に応じ、優先的施策の実施にコミットする。 ②G7として、ベスト・プラクティスを共有し、G7以外の国に対するアウトリーチ活動の促進。
		G7・つくば科学技術大臣会合	海洋ごみの規模や影響をよりよく把握するための科学的活動の重要性を確認。
		UNEA2(第2回国連環境総会) ナイロビ	決議「海洋プラスチックごみおよびマイクロプラスチック」が採択。モニタリング手法の標準化、マイクロプラスチックの一層の調査、マイクロビーズの利用削減が盛り込まれている。
	6	ICP17(第17回の海洋および 海洋法に関する国連非公式 協議プロセス)	第17回のテーマは「海洋ごみ、プラスチックおよびマイクロプラスチック」。海洋ごみの環境的、社会的および経済的な側面、海洋ごみ削減への取組みなどについて議論。
2017		GESAMPリポート(No.93)発行 国連UNEPがリポート発行	「海洋環境におけるマイクロプラスチックの発生源、運命、影響」に関するアセスメント(Ⅱ)。「海洋プラスチックごみとマイクロプラスチック」。
	10	欧州マイクロビーズ自主規制	Cosmetic Europeがマイクロビーズ使用中止の勧告。
	6	G7ボローニャ環境大臣会合	プラスチックおよびマイクロプラスチックに対する懸念を改めて表明し、地球規模の脅威との戦いに対するコミットメントを再確認。
		持続可能な開発目標(SDG)14 実施支援国連会議	SDG14とは、「海洋・海洋資源の保全および持続可能な利用」。日本代表は①海洋ごみ目標14.1、海洋酸性化 目標14.3、持続的な漁業 目標14.4などについてスピーチした。

注：黄色地は国連関係、緑色地はG7首脳会議（サミット）関係。

出典：各種資料より旭リサーチセンターが作成。

おわりに

海洋プラスチックごみとマイクロプラスチックの問題は予想以上に深刻であることが調査して初めてわかった。海の生物の生態系と人間の健康に対する影響が顕著になる前に、プラスチックごみ排出を止める対策を講じる必要性を痛感した。

また、海洋プラスチックごみとマイクロプラスチック問題は、海洋環境下での測定が難しいため定量的データに乏しく、またマイクロプラスチックの挙動や運命については未知のことが多い。最新技術を駆使して、もっと多くの研究者と技術者がこの問題に取り組む必要があると感じた。

特に、プラスチック廃棄物の代表であるポリエチレンが海洋環境下で最終的にどうなるか（ポリエチレンのままか、低分子物質まで分解するのか）がわかっていないことは、科学が進歩した時代に意外であった。

GESAMPはリポートNo. 90（参考文献(5)）の第3章「海洋環境におけるマイクロプラスチックの発生源と運命」中で、今後行うべき研究課題のトップに「少なくともポリエチレン、ポリプロピレン、発泡ポリスチレンについて、海洋環境下の光崩壊についてのデータを取ることを」挙げている⁴⁶。

⁴⁶ 「Generate data on weathering-induced fragmentation of at least the PE, PP and EPS plastics in the marine environment」：参考文献(5) 29頁。

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) 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 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) 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: PART2 OF A GLOBAL ASSESSMENT
http://www.gesamp.org/data/gesamp/files/file_element/0c50c023936f7ffd16506be330b43c56/rs93e.pdf

- (7) Biodegradable Plastics & Marine Litter, UNEP
[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](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) Atsuhiko Isobe et al., Microplastics in the Southern Ocean, Marine
Pollution Bulletin 15 January 2017, PP. 623-626

<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、マイクロビーズ、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