



講演抄録

海洋プラスチック問題とリサイクル

よし おか とし あき
吉岡 敏明

東北大学大学院 環境科学研究科 教授

1. マイクロプラスチックとは

マイクロプラスチックと呼ばれる微小なプラスチックが、様々な環境問題を引き起こしている。特に海洋汚染については、漁業や観光にも影響しはじめている状況である。例えば、クジラの胃から大量のプラスチック製の袋が検出され、また、洗顔料などに使われているマイクロビーズや人工芝の破片など、いわゆる陸上で使われているものが様々な形態で海洋に排出されていることが指摘されている。

マイクロプラスチックは5 mm以下の微細なプラスチックの総称であり、学術的な観点からの明確な定義があるわけではない。現在使われているほとんどのプラスチックが自然分解性はないが、紫外線や様々な気候条件で微細化するため、例えば人間が食する魚類の体内に取り込まれるなどの研究例もある。

プラスチック製品を製造するための原料や洗顔料・ボディソープ・歯磨き粉などに使われるスクラブ剤には、小さなビーズ状のプラスチック原料が使用されていて、これらを一次マイクロプラスチックと言う。一方、外的要因でプラスチックが劣化することで発生するのが二次マイクロプラス

チックである。発砲スチロールが小さな破片を生じることや普段使っている洗濯ばさみが容易に破損するという典型的な例からも、大きなものであれ、マイクロ化したものであれ、様々な経路から海洋に流出することは想像に難しくない。

2. プラスチック生産と廃棄の将来予測

2016年に出されたエレンマッカーサー財団の報告では、2050年まで現状のまま排出量が推移すると海洋中のプラスチックの量が魚の量よりも多くなるとされている。また、石油消費量におけるプラスチックが占める割合は2014年の6%から20%以上に、炭素収支においてはプラスチックが占める割合が1%から15%にまで拡大するとされている。

量においても、1950年以降のプラスチック総生産量は83億t、総排出量は63億tとなっており、2050年には120億tのプラスチックが埋立て・自然投棄されることも試算されている。現在、リサイクルされているのはわずか9%程度であることを考えると、何も手を施さない限りにおいては、今後、プラスチックの問題が今まで以上に大

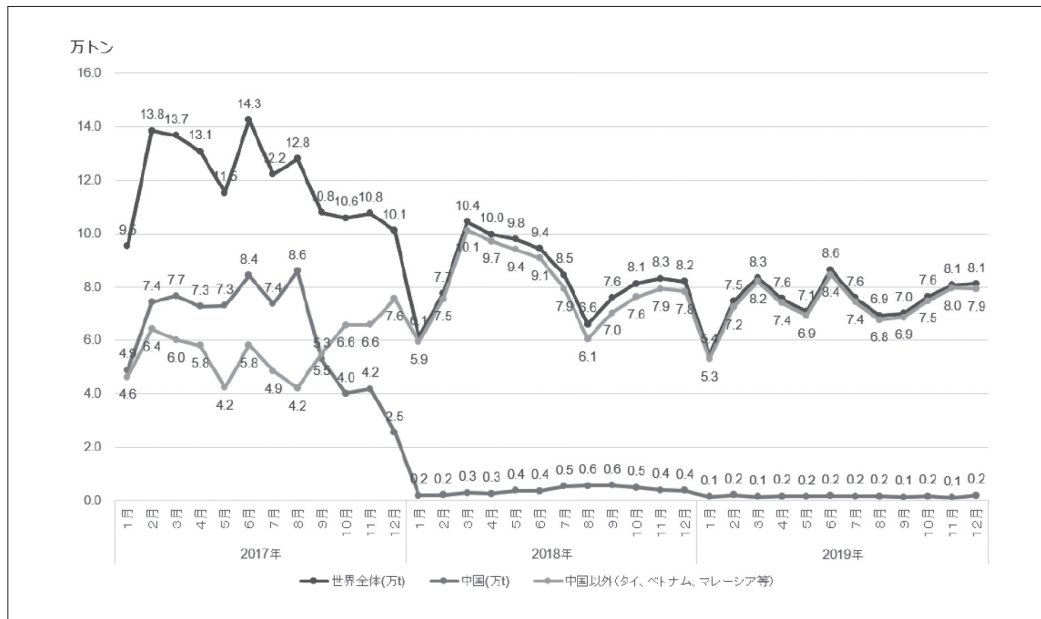


図1 我が国のプラスチックくずの輸出量の推移
 [出典：環境省資料 プラスチックを取り巻く国内外の状況①参考資料集②
 令和2年5月12日 中環審・産構審会議資料]
 元データ：財務省貿易統計（HSコード：プラスチックのくず 3915）

きな社会問題になるということが示されている。

3. プラスチック問題の現状

人口密度や経済状態等をもとに、陸上から海洋に流出したプラスチックごみの量について2010年の状況を国別に推計した。その結果では、主に東南アジアからのプラスチックの量が非常に多く、ランキングの上位1～4位が東・東南アジアである。リサイクルの制度や、そのための社会インフラなどが整備されているとされる日本が、率先して国際的な解決に向けた取組みを展開していくべきだろう。一方、日本は30位と低いランキングではあるが、それでも年間2万～6万tも発生していることをみると、これまで以上の先進的な取組みが不可欠であることは言うまでもない。

一方、中国が2016年にプラスチックを含む廃棄物の輸入禁止を示した。それまで、

多くの国がプラスチック廃棄物の処理を中国に頼っていた。例えば、日本からのプラスチック廃棄物の輸出量の推移を図1に示す。ほとんどのプラスチック廃棄物が中国に輸出されていたことがわかる。2017年以降、中国への輸出量が急激に減少し、その分中国以外への輸出量が増加している。しかし、中国以外の国々も中国に輸出していたことから、どの国においてもプラスチック廃棄物は行き場を失い、遅かれ早かれ自国での処理に取り組まなければならないであろう。

2019年に環境省のプラスチック資源循環戦略が打ち出され、そのなかで以下の6つのマイルストーンが示された。

- ①2030年までにワンウェイプラスチックを累積25%排出抑制
- ②2025年までにリユース・リサイクル可能なデザインに
- ③2030年までに容器包装の6割をリユース・リサイクル

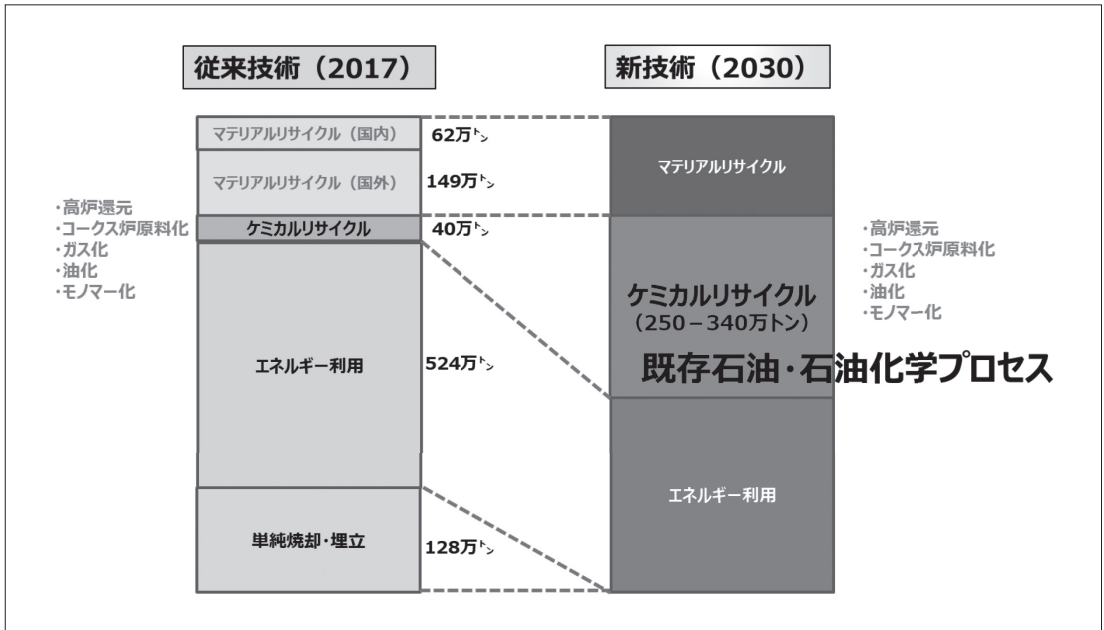


図2 日本におけるプラスチックリサイクルの将来比率
 [吉岡敏明、齋藤優子、熊谷将吾、環境情報科学、48、No.3、39-44、(2019) をもとに作成]

- ④2035年までに使用済プラスチックを100%リユース・リサイクル等により、有効利用
- ⑤2030年までに再生利用を倍増
- ⑥2030年までにバイオマスプラスチックを約200万トン導入

これまでの3Rの強化に加えて、バイオマスの積極的な利用に対するメッセージとなっている。

4. プラスチックのリサイクル

4.1 各リサイクル手法の現状と将来への期待

プラスチックをリサイクルするにあたっては、まずプラスチックについて知る必要がある。ポリエチレンやポリプロピレン、あるいはペットボトルなどとしてよく耳にするが、市場に出回っているプラスチックは樹脂だけでも150種類以上あり、年々そ

の種類は増えている。われわれが普段手にするプラスチックは、これらの樹脂に230種類もの添加剤から選択され、用途に応じて様々な組合せで製品となっている。

添加剤がほぼ入っていないPETボトルであれば、樹脂としてのマテリアルリサイクルは容易である。また添加剤が入っていても樹脂を主成分とする素材として選別することにより、リサイクルが可能となっている。一方、複合化された製品や樹脂としての構成比率が高くないものについては、マテリアルリサイクルだけでは対応に苦慮する製品・素材も圧倒的に多いと言える。

図2は、日本におけるプラスチックのリサイクルの現状と将来予測を示している。2017年のマテリアルとケミカルとエネルギー利用の比率から見ると、2030年では相当な部分をケミカルリサイクルでカバーする必要がある。技術的にエネルギー利用に依存するものもあるが、その場合、今よりも熱効率を上げるプロセスシステムと社会システムの構築が必要である。

国内のエネルギー回収施設、例えば廃棄物焼却施設におけるエネルギー効率率は平均で14%程度、ごみ発電でも26%程度であり、比較的高い技術水準とは言え、国際的な評価としては決して高いとは言いきれない面がある。つまり、欧州のように個別プラントを社会システムに組み込んでエネルギー利用効率を上げていることを考えれば、個別技術の開発と同時に地域循環的な取組みによって、もっと高い利用率を高める必要がある。

いずれにしても、様々に存在する、様々なタイプのプラスチックをきちんとリサイクルするには、マテリアルリサイクルとエネルギー回収だけでなく、製品原料を供給する立場からもケミカルリサイクルの比率を上げることへの期待が非常に高くなってきている。

4.2 ケミカルリサイクルの可能性

プラスチックのケミカルリサイクル技術には、ガス化、鉄鋼分野での利用、あるいは油化などがある。現在、大型の油化については稼働していないが、ヨーロッパでは、日本で進めたケミカルリサイクル技術をもう一度見直して、大きく進めようという動きが出てきている。ただし、これまでのケミカルリサイクルの他にも、化学産業や製造産業を利用するケミカルリサイクルへの取組みは相当あるので、これらを進化させて上手に活用するには、さらなる技術開発が必要になる。

プラスチックは原油から石油製品、さらに石油化学製品を通して作られる。わが国で年間約1,000万t製造されるプラスチックは、量的には原油の約4~5%に相当し、ほぼ同量のプラスチックが廃棄される。プラスチック製造の流れを考えると、既存の石油精製プロセスに、廃棄プラスチックを持ち込むことができれば、リサイクルに特化した新しいプロセスを造らなくても化学

原料に転換できるような流れができると期待できる。もちろん、プラスチックが入ることによって既存の設備にどのような負荷が掛かるかということも、技術的に見極めることは重要なことであるが、既存の原料受入れや運転スペックをどこまで広げられるかという開発も不可欠な取組みである。

国内の製油所とエチレンセンターなどの石油化学コンビナートは、ほぼ同じ位置に立地しているため、例えば石油精製プロセス、あるいは石油化学プロセスを使うといった場合には、プラスチックをケミカル原料とすることで、「バージンの製品の中にプラスチックのリサイクル製品が既に入っている」というコンセプトが打ち出せることになる。

既述したように、プラスチック製造用に使われているのは原油の4~5%ぐらいであるが、例えば、この原油の2%前後相当分をプラスチックで代替する場合、廃棄されるプラスチックの250万~300万t程度は石油精製側で十分に飲み込めることになる。既存プロセスに対して2%前後が大きな負荷になるのか、小さな負荷になるのかは技術開発の要素が多分にあるものの、今後考えるべき重要な視点である。

ケミカルリサイクルについては、これまでは強く意識されていなかったが、欧州ではここ最近、非常に大きな投資をして、ケミカルリサイクルのプロセスを進めていこうという動きが出てきている。国際的な動きに対して少し早すぎたために取りやめた日本のプロセスについて、もう一度見直し始めているのが現状である。

4.3 バイオプラスチック

プラスチック資源循環戦略では、マイルストーンとして「2030年までにバイオマスプラスチックを約200万トン導入」が記載されており、いわば積極的なバイオマス資源の利用を進めている。そもそもバイオの

プラスチックとは何なのか、少し整理してみる(表1)。

バイオプラスチックと言うと、バイオなのですぐ分解するというイメージがあるが、プラスチックのなかには、生分解性のもので非生分解性のものである。従来の石油系のプラスチックは非生分解性のものである。しかし、石油からでも生分解性プラスチックを作ることである。また、バイオマス由来の原料から作られるプラスチックであっても、非生分解性のいわゆる石油から作られる従来のプラスチックと同じポリエチレンやポリプロピレンを作ることができる。あるいは、石油系とバイオ系が混合しているプラスチックにも生分解性と非生分解性がある。

バイオプラスチックと言っても、このよ

うに様々な種類の形があるが、生分解性なのか非生分解性なのかというのは海洋プラスチックごみ問題やマイクロプラスチック問題に対してどのくらいの効力があるのかという視点であり、原料が石油系なのかバイオマスが由来なのかは二酸化炭素排出に対しての視点として課題を整理することに繋がっている。どのようにそれぞれのプラスチックを使い分けていくのかについては、今後の技術的・政策的な方向性が重要となる。

このように、バイオマスを原料として全種類のプラスチックが作られることはない。一方、バイオマスは、大きく生産系と非利用資源系の二つに分類されるが、プラスチックに転換できるバイオマスは生産系のなかでは糖質系、でんぷん系、油脂系、

表1 生分解性プラスチック/バイオベース(マス)プラスチック

	化石由来	化石由来+バイオマス由来	バイオマス由来	Plastic pollution issue
生分解性	生分解性プラスチック	バイオベース生分解性プラスチック	生分解性バイオプラスチック	
	PVA, PGA ポリブチレンアジペート/テレフタレート、 ポリエチレンテレフタレートサクシネート、 その他	Bio-PBS ポリ乳酸ブレンド・PBAT スターチブレンド・ポリエステル樹脂 ポリブチレンテレフタレートサクシネート	ポリ乳酸 PHA系 (PHBH等)	
非生分解性	プラスチック	バイオマスプラスチック	バイオマスプラスチック	
	PE PP PET PVC PS ABS, PC, PBT POM, PMMA PPS, PA6, PA66 PU, フェノール、 エポキシ、 その他	Bio-PTT Bio-PET Bio-PA610, 410, 510 Bio-PA11T, MXD10 Bio-PC Bio-PU 芳香族エステル Bio-フェノール Bio-エポキシ樹脂	Bio-PE Bio-PP BiO-PA11 Bio-PA1010	
Resource/CO ₂ emission issue				

[参考：プラスチック資源循環戦略小委員会資料]

未利用資源系では農産系だけであり、非常にわずかである。結果として、赤道近辺の特定の地域にバイオマスの生産拠点が偏るという状況になっている。残念ながら、日本には現状で求められるバイオマス生産地はない。

バイオマスからプラスチック転換する場合、近年では特殊な熱分解反応にも期待が寄せられているが、主とするプロセスは、高いセルロース系バイオマスを原料とした発酵や糖化という反応である。しかしながら、高いセルロース系という分野でバイオマス資源が使われていても、プラスチックの生産に使われているうちのほんのわずかである。視点を変えれば、他の分野で高いセルロース系バイオマスをプラスチックの原料に転換する技術があるならば、国内資源からでも石油を代替するバイオマス資源としてプラスチック製造に役立てることが期待できる。

図3に示すように、廃棄物系だけを考えても、現在のプラスチック生産量をはるかに超える2倍から3倍に相当する資源量がある。

ある。

5. 目指すべきプラスチックの資源循環の姿

プラスチックに関わる産業には、石油精製および石油化学産業があり、さらに様々な製品製造し、市場に供給するユーザー産業がある。これまで取り組まれていたりサイクルは、主にユーザー産業と消費者の間でどれだけ循環できるのかということを考えてきたが、今後は消費者から石油精製や石油化学産業に流れる新しいリサイクルルートが必要である。

バイオマスも含めたプラスチックの循環、あるいは既存の産業を上手に使ったプラスチックの循環を考える必要がある。例えば、電力産業、あるいは鉄鋼産業、セメント産業、石油・石油化学産業、紙・パルプ産業という基幹産業の各工場がカバーできるエリアを図4に示す。基幹施設の各100km圏内をみると、ほぼ日本全国をカバーするが可能となる。比重が小さく軽

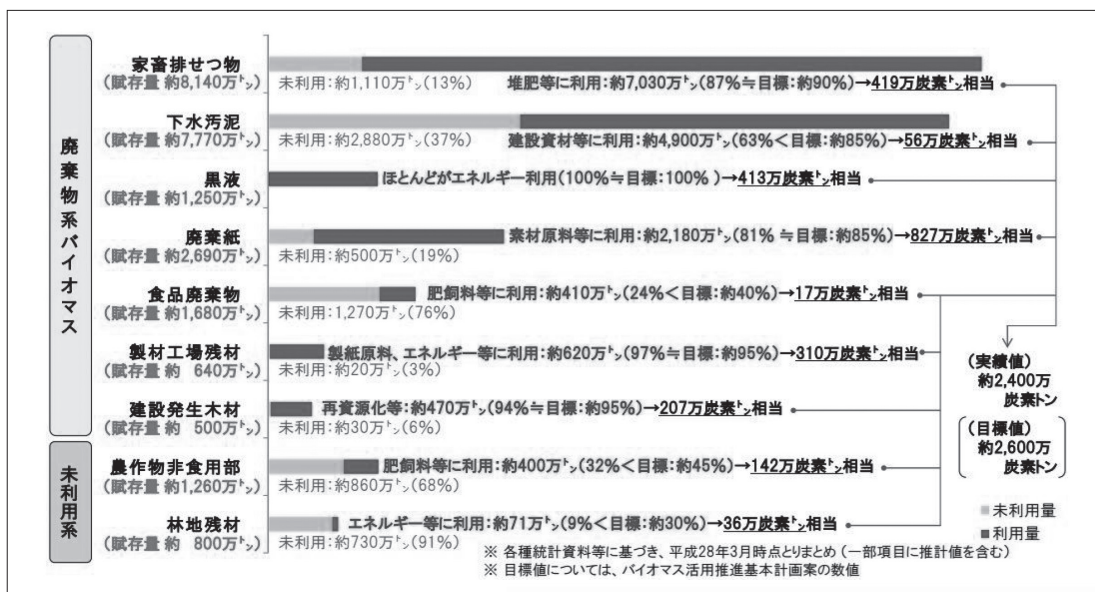


図3 高いセルロース系バイオマスのポテンシャル
 [出典：バイオマスの賦存量と利用率の目標（農林水産省）]

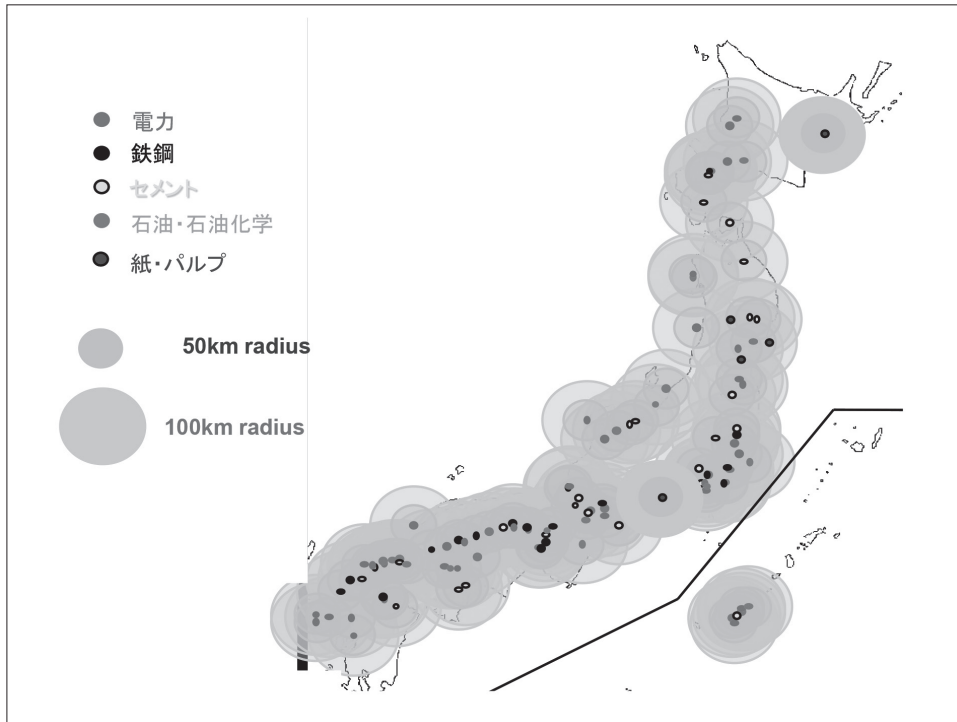


図4 基幹施設のカバーエリア

【出典：熊谷将吾、吉岡敏明、廃棄物資源循環学会誌、2014】

いプラスチックを遠くまで輸送することなく、あるいは地域の産業特性に合わせた形でプラスチックの循環を考えることができる。地域によっては全く同じリサイクルシステムである必要はなく、それぞれの地域性を活かしたプラスチック循環ができるであろう。

バイオマス資源を増やししながら石油資源の投入を減らし、結果的にプラスチックが抱える環境負荷を低減する社会システムを構築し、技術的にしっかり担保することで、プラスチックの新しい価値を創造することが求められる。プラスチックが価値を持ち、加えて経済的に有利ということであれば、おのずと海洋流出分を減らすことができる

であろう。

6. おわりに

理想とする社会に、どのようにわれわれが到達できるのか。様々な要素技術の開発が必要であろう。その一方で、使える異分野の技術もあり（トランステクノロジー）、技術の相互利用、技術の移転利用、加えて新しい技術を融合させながら、少しでも理想とする未来社会に近づけていけるように貢献できればと思いながら、目下研究を進めている。

多くの皆さま方との情報共有・意見交換をしながら努力していきたいと思っている。