

プラスチック社会と環境

小西 克明

プラスチックとは？

私たちにとってプラスチックはとても身近な存在です。プラスチックというと、多くの方はいわゆる「ビニール袋（ポリ袋）」やゴミ分別時に意識する「容器包装プラスチック」「ペットボトル」を連想するのではないのでしょうか。この他にも身の回りを見渡してみると、家電製品、調理器具（タッパー）、メガネ、自動車、除雪シャベル、などの日常生活に奥深くまで入り込んでいて、もはや欠く事ができないものになっています。化学的にみると、これらはいずれも炭素を主骨格とする「有機高分子」です。ここで高分子とは分子量（化学結合で結ばれた構造単位の相対重量）が大きい物質のことをいいます。例えば、水の分子量は 18、ブドウ糖は 180 に対して代表的な高分子のポリエチレンは数万～数百万に達します。日本工業規格（JIS）K6900 によると、プラスチックは「高分子物質を主原料として人工的に有用な形状に形づくられた固体」とされています。したがって、プラスチックは、分子量が大きい物質であり、その形状は人工的に有用な形に成形されていて、常態では固体であるという 3 条件を備えていることが必須となります。プラスチックという言葉自体は、もともとギリシャ語の $\pi\lambda\alpha\sigma\tau\iota\kappa\acute{o}\varsigma$ （型にはめて成形できる）と言う単語に由来した英語（plastic）が日本語となったもので、可塑性（材料として成形できる）が重要な性質として含まれています。実は繊維・ゴム・塗料・接着剤なども高分子物質の仲間であり上記の三条件を備えていることが多いですが、プラスチックには分類されません。しかし、科学的には親戚みみたいなもので多くの共通点を持ちます。

プラスチックの環境問題

日常生活で私たちはプラスチックの利便性を無意識のうちに享受しています。言うまでもなく、これらは人類の科学技術の発達の成果といえるべきものですが、自然界の微生物等ではほとんど分解されないため、放置してしまうと環境中に滞留してしまいます。こうした環境問題への対応のため、有料レジ袋をはじめプラスチックの削減と再利用を促進する動きが高まるとともに、「マイクロプラスチック」「海洋プラスチック」という言葉がメディアに頻繁に登場するようになりました。図 1 の写真は、全世界で広く読まれているアメリカの「ナショナルジオグラフィック」という月刊雑誌の表紙ですが、一見海に浮かぶ冰山に見えます。しかしよくみると水に浮かんでいるのはポリ袋で、「Planet or Plastic?」（地球とプラスチックのどちらをとる？）と書かれており、プラスチック問題に関する注意を喚起しています。



図 1 National Geographic
2018 年 6 月号

本日の講義では、科学的視点からプラスチックがどういうものか改めて理解し、国内外の現況ならびにサステナブル社会実現のための取組を解説します。

プラスチックはどうやってつくる？

ほとんどのプラスチックの由来をたどると石油に行き着きます。石油は、ガソリン、灯油などの原料となるだけでなく、化学反応で様々な有機物に変換できます。これで高分子の原料となる基礎構造単位（「モノマー」と言います）を製造したあと、それらを連続的に化学結合でつなげる（「重合」といいます）ことで「高分子」が得られ、これがプラスチック、ゴム、繊維の素材となります。中でもエチレンは特に重要で、そのまま重合させることでポリエチレンが得られるだけでなく、スチレン、塩化ビニル、酢酸ビニル、エチレングリコールなど身近に使われるプラスチックの原材料になります。これらから得られるプラスチックはそれぞれ、発泡スチロール（ポリスチレン）、配管パイプなどに使われる塩ビ樹脂（ポリ塩化ビニル）、木工ボンド、PET（ポリエチレンテレフタレート）樹脂・繊維、として用いられます。

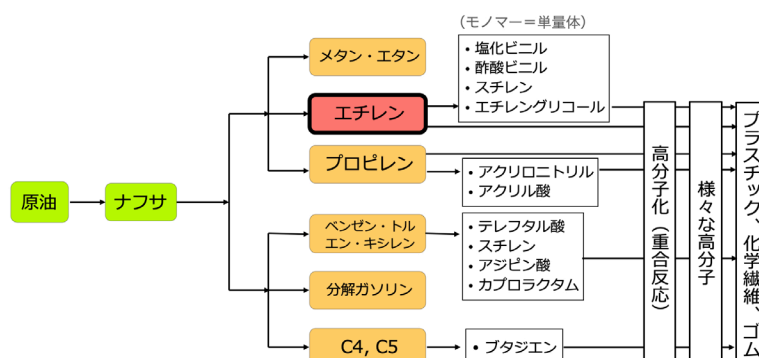


図2：石油から各種高分子の製造

どのように使われる？使用時の問題点

このようにして製造される様々な高分子ですが、このままでは製品として使うことはできません。製品として用いるためには、目的に応じた性質（固さ、柔らかさなど）をもたせて、成形して、使い勝手を向上する必要があります。このために「可塑剤」(plasticizer＝柔軟性を備えさせるもの) という物質を外部から加えて加工性を良くする手法があります。例えば、上でも述べたポリ塩化ビニルは、固くて丈夫であることが求められる配管パイプ、柔らかいことが求められるビニールハウス用のフィルム、のどちらにも使われますが、これらの違いは可塑剤の量によって調整できます。また、使用しているうちにすぐに壊れてしまっても困ります。ご家庭にある古いプラスチック製品が黄ばんだり亀裂がはいったりしたことはありませんか？これは酸素や紫外光で高分子の鎖が酸化されたことによるものです。こうした劣化を防ぐ（遅らせる）ためにわずかの量の老化防止剤、酸化防止剤がプラスチック

ク製品に添加されています。

このように適切な添加剤が加えられた状態でプラスチックは加工、成型されて、製品として使われます。しかし、使用中にこれらの添加剤が漏れ出してくる可能性があります。添加剤だけでなく、高分子の合成時に除去しきれなかった未反応モノマー、分解成分などが漏れ出してくることも考えられます。これらは割合的、総量的にはわずかかもしれませんが、微量であっても生態系や健康に影響する可能性があります。90年代後半に「環境ホルモン（内分泌かく乱物質）」の危険性がメディアで大きく取り上げられ、社会問題となりました。危惧される物質群には、プラスチック製品の可塑剤として用いられるフタル酸エステルやポリカーボネート由来のビスフェノール A なども含まれています。こうした懸念に関する報道は最近聞かなくなりましたが、問題なしと結論がでたわけではありません。最近の研究によると、ある種の生物種については、なんらかの影響があることは間違いないということです。さらに長期間の継続的なモニタリングを通じてグローバルに注視していく必要があります。

プラスチックのリサイクル

プラスチック製品は使用後は廃棄することになります。以前にはプラスチックは「燃えるゴミ（燃やせるゴミ）」として一括焼却処理されていましたが、持続可能な循環型社会への意識向上が進む中でリサイクル法が制定され、最近では分別回収がされていることはよくご存知だと思います。しかし、プラスチックに用いられる高分子の種類は多種多様であり、直接リサイクル利用するためには成分ごとに分別する必要があります。このために、1989年には米国プラスチック産業協会（Society of Plastics Industry）によって、使用量が多い

6種類+その他として番号が振られました（図3の1~7）。我が国では、JIS K 6889-1で識別マークと略号が規定されており、廃プラの6割を占める容器包装プラスチックなどに表示されています。しかし、一般人が種別を理解して細かく分別するのは困難です。そこで、PETとPET以外のプラ



図3 プラスチック製品の識別マーク

スチック（「プラ」表示）でおおまかな分別がされています。「プラ」についてはPP、PSなどの高分子の種類を示す略号が付されている場合もあります。容器包装プラスチックに限らずプラスチックの種別回収の問題点としては、複数の高分子がブレンドされていたり、家電製品にみられるようにプラスチックと金属が一体化していたりして分離が困難な点です。しかし、容器PET等ほぼ単独の素材で使われるものについてリサイクルできる体制ができてきました。

こうして回収されたプラスチックの再生、再利用については、①マテリアルリサイクル（メカニカルリサイクル）、②サーマルリサイクル、③ケミカルリサイクル、の3種類があ

ります。①はもっとも身近で実施されている方法で、単一樹脂に選別して再び加工原料に再生する方法です。使用済み PET ボトルの場合、洗浄後に粉砕しペレット化し、PET ボトル、繊維、シートなどに加工再生できます。②はそのまま燃焼させて熱エネルギーを取り出す方法ですが、通常の燃料に比べて熱効率が低いのが難点です。また二酸化炭素を放出するため低炭素化の流れに逆行します。③は化学反応で別の有用物質に変換する手法です。PET の化学結合を切断して原料（モノマー）としてから再度 PET とする方法や、触媒存在下で高温処理して合成ガスなどの工業原料とする方法が知られています。

バイオマスプラスチックと生分解性プラスチック

現在使われているプラスチックのほとんどは石油を原料としますが、カーボン・ニュートラルなどの観点から再生産可能な植物資源（バイオマス）を利用して、プラスチックを製造できる技術も確立しています。例えば、サトウキビを発酵して得られるエタノールから作られるエチレンからポリエチレンが製造されており、レジ袋の素材として使われています（図 4）。ここで注意しなくてはならないのは、植物由来と石油由来のポリエチレンは化学的には全く同一のものということです。したがって、植物由来だから土に還することができる、だから環境にやさしい、というわけではなく、リサイクルなどは石油由来と同じように行わなくてはなりません。製造過程において CO₂ の排出を有る程度抑制できる程度に考えておいたほうが良いでしょう。一方、土壌、河川水、海水などの環境中で、微生物が関与して代謝分解される生分解性プラスチックもあります。こうしたプラスチックは石油由来でも植物由来でも合成することができ、色々な意味で理想的に思えますが、使用中に分解してもよいケースは限られているので用途が限られているのが現状です。化学的になんらかのスイッチ機能を搭載して、利用後にのみ分解が起きるような仕組みの開発が待たれます。



図 4：某コンビニのレジ袋

終わりに

かつて 20 世紀末には石油はなくなると言われていましたが、まだ枯渇する心配がありません。しかし、石油由来の産物であるプラスチックをとりまく社会では、循環型社会・経済、低炭素化、地球温暖化など課題が山積しています。さらに、最近では海洋プラスチック、マイクロプラスチック問題がメディアでとりあげられるようになってきました。現在地球上では、毎年少なくとも 800 万トンのプラスチックゴミが海に放出され（この多くが日本以外の東アジア!）、累積で 1 億 5000 万トンにもなると言われています。本講義では、これらを含めて現代を生きる我々がすべきことを考えていきたいと思います。