

1-2 SPIコードで見る プラスチック

識別マークといえば、こちらの表示もおなじみでしょう。ペットボトルでは必ず見かける表示に、「SPIコード（プラスチック材質識別マーク）」というものがあります。プラマークが、プラスチックであるかどうかを識別するものであったのに対し、SPIコードは、プラスチックの種類を1～7までの数字で識別できるマークです。

① プラスチック製品のSPIコード

SPIコードは、米国プラスチック産業協会が定めたもので、主にアメリカやカナダで使われており、日本ではプラスチックの一種、ポリエチレンテレフタレート（PET）であることを示す「1」のみ表示が義務付けられています。そのため、2～7の表示はあまり目にすることはないかもしれませんが、暮らして用いる、身近なプラスチックを網羅した識別マークといえます。

● 1 ポリエチレンテレフタレート（PET）

「1」がポリエチレンテレフタレートを示すことは前述しました。略称でPETと表記され、おなじみのペットボトルは、この素材でできています。PETからつくられるものには、ほかにも卵のパックや衣類の繊維などがあり、PET＝飲料を入れる透明なボトル、だけではないことがわかります。

● 2 ポリエチレン（PE）

「2」と「4」は、同じくポリエチレン（PE）を示します。その中でも、高密度ポリエチレン（HDPE）が「2」に、低密度ポリエチレン（LDPE）が「4」に分類されます。HDPEでできたものには、灯油のタンクやバケツ、屋外用の家具や玩具などがあり、LDPEでできたものには、ラップやレジ袋などがあります。同じポリエチレンでも、密度の違いができるしくみは、のちほどお話しますが、密度が高いものほど、硬く丈夫なものがつくれます。

PET
ポリエチレン
テレフタレート

透明で耐熱性が高い。
ガスバリア性が
高い（気体を通し
にくい）。



PE
ポリエチレン

高密度ポリエチレン
強くて丈夫。
環境適性が高い。



低密度ポリエチレン
よく伸びる。
白、ぼく不透明。



PVC
ポリ塩化ビニル

耐候性にすぐれ、
さまざまな
質感のものがある。
燃えにくい。



PP
ポリプロピレン

軽く、衝撃
に強い。



PS
ポリスチレン

透明。
発泡させたものが、
発泡スチロール。



その他

①～⑥以外の
熱可塑性プラスチックと
熱硬化性プラスチック。



図 1.3 SPIコードをもとにしたプラスチックの分類

高分子と、それが集まってできるプラスチックについて、基本となるお話を進めてきました。次に、プラスチックの開発の歴史的な背景と、発展について紹介していきます。

① プラスチックの夜明け前

高分子（ポリマー）は、人工的につくられる特別なものと感じた人がいるかもしれません。実はそうではなく、布や木材、体をつくるたんぱく質なども、すべて高分子でできています。逆にいうと、金属や陶器、ガラス以外は、すべて高分子からできているといってもよいほどで、私たちは、高分子にあふれた世界で生活しています。

人工の高分子であるプラスチックが登場する以前は、これら天然の高分子をさまざまに利活用していたほか、食品の容器をはじめとする日用品は、陶器やガラスなどからもつくられていました。

ヨーロッパでは、ジャムを入れて販売する容器として、陶器が使われていたそうです。中身がもれないように、ふたにはワックスペーパーと厚紙が当てられ、それらをひもでしっかりと結びつけていました。



図 1.14 きまざまな高分子

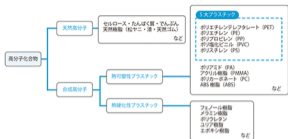


図 1.15 天然高分子と合成高分子

使い終わると、燃やして捨てることができない陶器は、土の中に埋めて処分していたといえます。ジャムは日用品ですから、埋められた容器もさぞ大量にあったことでしょう。

土中に埋まっていたそれらの容器が、現在ではアンティーク雑貨として人気を得ています。「1940年代 アンティーク」とラベルされた容器を見ると、つい近年（といっても80年前ではありませんが）まで、容器といえば陶器かガラスという時代であったことがうかがわれます。



図 1.16 陶器でできたジャムボット

3-1 プラスチックごみが問題になるのはなぜか？

ストローのように、一度きりの用途で捨ててしまうプラスチックは、ワンウェイプラスチックと呼ばれています。このような、手軽に使って捨てる、という方向の使い方の見直しを、世界的に図られようとしています。その全体像と背景を見ていきましょう。

① ワンウェイプラスチックを削減する取り組み

日本では2020年7月から、レジ袋の有料化がはじまりました。さらにそれよりも早く、国策としてワンウェイプラスチックの利用の見直しを宣言した国が数多くあります。

たとえばフランスでは、使い捨て容器の使用を2020年から原則禁止とすることを、2016年に公布しました。ルワンダでは、旅行者が国外からレジ袋を持ち込むことすら禁止しています。このような取り組みは、さらに拡大しています。



1	アメリカ	カルフォルニア州のハンバーガーショップでは、リサイクルとコンポスト（堆肥）専用のごみ箱が導入されている。	5	ドイツ	ドイツのプラスチックには、リサイクルマークが導入されている。
2	EU	将来的に使用されるプラスチック製品（ストロー、プラスチック食器、マドラー、歯ブラシ、歯ブラシ、歯ブラシなど）の使用を禁止。2025年までにほぼすべてのプラスチックボトルのリサイクル回収を義務付けている。	6	ケニア・ルワンダ	ケニアでは、2017年8月からポリプロピレン製の、販売、輸入が法律で禁止されている。ルワンダでは、旅行者の持ち込みも禁止。
3	イギリス	使い捨てのプラスチックストロー、マドラー、歯ブラシの使用を禁止。	7	中国	中国の全産品では、紙本巻を削減し、ペットボトルの削減を促進する取り組みを行っている。
4	フランス	2020年1月1日から、タンブラー、コップ、缶等の使い捨てプラスチック容器の使用を禁止。さらに、2025年までに段階的に禁止品目が増える予定。	8	タイ	バンコクのホテルではガラス瓶で飲み水を提供している。

図 3.1 ワンウェイプラスチック削減の取り組みの一例

② 海洋汚染とプラスチックの関係

ワンウェイプラスチックをはじめとするプラスチック製品の使い方が大きな話題となり、排出を減らすべく対策が求められるようになった背景には、プラスチックによる海洋汚染が深刻化しているという問題があります。1章で、プラスチックの歴史についても触れましたが、プラスチックの生産量が飛躍的に高まりを見せたのは、1950年代のことでした。そして1960年代にはすでに、研究者の間で、プラスチックによる海洋汚染を示唆する報告が出されはじめていました。

1962年、ニューファンドランドの海鳥の消化管の中から、プラスチックのかけらが見つかったことが、それを裏付けるはじめての報告だといわれています。それから50年以上経った2016年、国際会議（ダボス会議）で、このような衝撃的な試算が発表されました。

「今と同じようにプラスチックの消費と廃棄が続けられれば、海洋のプラスチックごみの総重量が、2050年には海洋生物の総重量を超える」というのです。

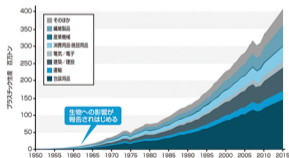


図 3.2 プラスチック生産量の年代グラフ

出典：「Global primary plastic production according to industrial use sector from 1950 to 2015」
John Sloan et al., Frontier Technology Quarterly, September 2019; Frontier technologies for addressing plastic pollution (2019.9)

3-2 マイクロプラスチックは どのようにしてできるか

小さなかけらになりながらも残り続けるというプラスチックの性質が、ごみ問題をさらに厄介なものにしています。そして、プラスチックごみの劣化が進み、数多くの小さなかけらを生み出す場となっているのが「海」です。そのメカニズムを詳しく見ていきましょう。

① 海に拡散するマイクロプラスチック

海岸や波打ち際に、マクロプラスチックがメソプラスチックへ、さらにマイクロプラスチックへと砕けていくメカニズムを、詳しく調べる研究が行われています。

九州大学の磯辺篤彦教授らの研究チームは、漂流するプラスチックが、海岸近くをどのように移動するのか、プラスチック片（かけら）のサイズごとの分布とその移動について、詳しく調べました。

● サイズによる特徴的な分布

多くのプラスチック製品は水に浮きますが、それは海水においても同じです。加えて海では、波や吹き付ける風が、海面に動きをつくり出します。そしてそれらが、プラスチック片の移動に興味深い影響を与えています。

5ミリメートル以上のメソプラスチックは、海面近くの浅い場所を漂いやすく、それより小さなマイクロプラスチックは、海面からやや深い場所を漂流するといえます。

どうしてそのようなことが起こるのでしょうか？ プラスチック片が海水中を漂うとき、浮き上がろうとする「浮力」と、海水による「摩擦力」が発生します。摩擦力は、沈む方向へ働き、浮こうとする力に拮抗します。この摩擦力は、メソプラスチックよりも、小さな体積の割に表面積の多いマイクロプラスチックで大きくなり、結果として、マイクロプラスチックの方が、海面よりもやや深い位置を漂うこととなります。

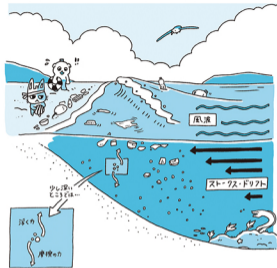


図 3.7 波の動きとプラスチックの移動

● マイクロプラスチックを大量に生み出すメカニズム

さらに海面には、「ストークス・ドリフト」という水の動きが存在します。波は、寄せては返す動きをしますが、よく見ると、寄せた波が振り返らず、少しずつ岸へ寄せる動きが生まれています。これをストークス・ドリフトといいます。

海面近くを浮いて漂うメソプラスチックは、ストークス・ドリフトに乗って海岸方向へ移動しやすく、打ち上げられる機会が多くなります。海岸では、日光や紫外線の影響で劣化が進み、次に波にさらわれる時には、さらに細かいプラスチック片に変わる可能性が高まります。

こうして、海岸近くの波の作用によって移動するプラスチック片は、効率的にマイクロプラスチックへと変化していくといえます。

5-1 再生可能資源を使った 製品開発

従来のプラスチックが持つ課題を解決するため、「再生可能資源への代替」をキーワードに、「新たな素材」の開発が試みられています。どのような原料から、どのような素材や製品が生まれているのか、まずは海外のユニークな事例を紹介します。

1 Renewableな製品開発の事例

Renewable（再生可能資源への代替）には、そもそもプラスチックを使わず、ほかの素材で代用することも当てはまりますが、研究と開発の要は、「プラスチックを石油からではなく、再生可能資源からつくる」ことにあります。

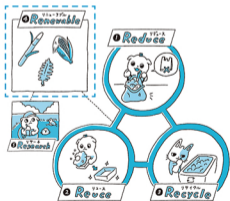


図 5.1 Renewable は 4 つ目の R

1 海藻からつくられる包装材：Seaweed-Based Packaging

インドネシアの Evoware 社が開発した「Seaweed-Based Packaging（シーワード・ベースド・パッケージング）」は、その名の通り、海藻を材料につくられた包装材です。フィルム状の食品包装から使い捨ての飲料カップまで、さまざまな用途、形状のものが製品化されています。

これらの製品は「食べられる包装紙」とも呼ばれ、天然の材料と食べても安全なごく少量の化学物質でつくられています。材料の大半を占める海藻に由来した、食物繊維やビタミン、ミネラルなどを豊富に含む包装紙やカップは、利用後、そのまま食べることもできます。成分を有効に摂取しながら、廃棄物も出さないというユニークな特徴が、話題となりました。

製造の上でも、食品を扱うレベルの衛生管理がなされているため、食べて処分することも前提となっているわけです。いろいろ豊かで、見た目もプラスチックそのもののカップを食べる様は、まさに新しい！ そんな光景が目に見えます。

熱に弱く溶けやすいという弱点もありますが、熱によるシーリングを可能にしたり、お湯を注ぐと溶ける調味料袋として、その性質すら活用することが考えられています。



図 5.2 Seaweed-Based Packaging

資料提供：Evo & Co | Evoware World | Eito Jello

5-3 バイオプラスチックの研究と開発

石油からつくられる従来のプラスチックが持つ3つの課題を紹介しました。これらの解決を目指して、研究と開発が進められているのが「バイオプラスチック」です。これには、再生可能資源であるバイオマスからつくられる「バイオマスプラスチック」と、自然環境で分解する「生分解性プラスチック」が含まれています。それぞれのプラスチックについて、詳しく見ていきましょう。

① バイオマスからつくる「バイオマスプラスチック」

新しいプラスチックの材料として期待されるのが、再生可能資源の1つである植物や農産廃棄物などの「バイオマス」です。

バイオマスは、動植物由来する有機性の物質（炭素を含む分子からなる物質）のことで、動植物体そのものをはじめ、それらが生きていく上でつくり出す物質や排泄物、死骸までもが含まれます（p.117参照）。

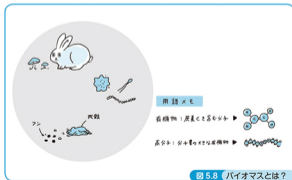


図 5.8 バイオマスとは？

二酸化炭素 (CO₂) や重曹 (NaHCO₃) などは、炭素を含むが、無機物として扱われている

植物体はおもに、セルロースやでんぷんなどの炭水化物で、動物体はおもに、たんぱく質からできています。また植物も動物も、生きていく上で欠かせない代謝や調節機能により、体内でさまざまな物質をつくり出しています。これらの多くは、天然の高分子に当たり、元素のレベルで考えると、多い順番に炭素 (C)、水素 (H)、酸素 (O)、窒素 (N)、リン (P)、硫黄 (S) を含んだ貴重な資源の宝庫となります。

有機性の合成高分子であるプラスチックは、炭素を骨格として、水素や酸素などの元素や官能基が結合した物質です。これらの材料をバイオマスから取り出したり、合成することで、バイオマス由来のプラスチックをつくり出すことができます。

このように、バイオマスを材料に合成されたプラスチックは「バイオマスプラスチック」と呼ばれ、研究と開発が盛んに行われています。

② バイオマスプラスチックのつくり方

では、バイオマスからどのようにして、プラスチックをつくり出すのでしょうか。代表的なものに、セルロースやでんぷんなど、バイオマスの構成成分を直接利用する方法、微生物の体内に蓄積させる方法や、バイオマスからモノマーをつくり、重合させる方法などがあります。

● バイオマスの成分を直接利用する

まずイメージしやすいのは、バイオマスの構成成分を直接利用する方法です。植物や穀物などのバイオマスに含まれるセルロースやでんぷんは、天然の高分子です。これらの成分に、化学的な改変を加えることで、熱可塑性を示す合成高分子、つまりプラスチックとする方法がいくつか考え出されています。

この方法によって得られるプラスチックには、エステル化澱粉や酢酸セルロース (CA) と呼ばれるものなどがあります。これらは、単独で製品となるよりも、ほかのプラスチック材料と混ぜて用いられることが多いのも特徴です。

5-6 生分解性プラスチックへの期待

ここで生分解性プラスチックについて、あらためてその活用方法を見直し、将来性を展望していきましょう。

① 生分解機能を生かした利用

資源はできる限り回収し、再利用することが大前提ですが、生分解性プラスチックはその機能を活かし、回収が困難な場所での利用も考えられています。つまり利用した環境で、生分解により処分を終えてしまうという使い方、生分解性プラスチックの特性が、もっとも活かされる方法ということができるかもしれません。

このような活用は、農業や園芸、漁業や土木関連の現場などで見出すことができます。

たとえば、農地や畑にフィルムシートが敷かれていたり、農作物を保護しているのを見たことはありませんか？ これらは、土の温度の調整、雑草対策や防虫の目的で使用されているものです。使用後、これらをすべて回収して処分すると、大変なひと手間になります。野焼きで処分すれば、ダイオキシンなど有害物質を発生しかねません。このような環境下で生分解性プラスチックを使えば、そのまま環境中で分解を待つという使い方も可能となるでしょう。

また、護岸建設や災害対策の現場で使われる土嚢袋などは、使用後の回収が困難な資材の1つです。これらの素材に生分解性プラスチックを用いれば、時間の経過とともに袋は分解され、必要な土や砂のみを残すことができます。

さらに、漁業で用いられる網や釣り糸などが海洋に流出し、生物に影響をおよぼしているとの報告もあとを絶ちません。完全に回収することが困難なこれらの漁具に、生分解性プラスチックを用いることで、万が一流出が起きたときも、環境や生物への影響を最小にとめることができます。

ほかにも、そのまま分解を待つのが便利な場、使用後に完全に回収する

ことができない場合は、さまざまに見出すことができ、生分解性プラスチックの導入が期待されます。

ただしその場合、当たり前のように聞こえますが、「使用する環境下で生分解する」ということが大前提であることを忘れてはなりません。

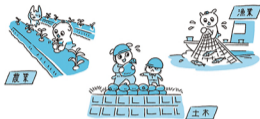


図 5.24 生分解性プラスチックの活躍の場

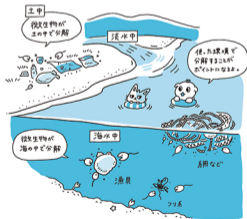


図 5.25 さまざまな環境下での活用