

## バイオプラスチックの現状

－環境問題とプラスチック－

拓殖大学工学部教授 早川 信一

### 1. はじめに

2020年7月1日から、日本全国でレジ袋が有料となった。これまでスーパーやコンビニなどで無料であったレジ袋が、2～5円程度で販売されるようになったのである。その有料化の理由や効果については批判的な声、懐疑的な意見が聞こえるなど、様々な捉え方があるものの、レジ袋の有料化が環境問題について考えるきっかけにもなっている。さらに、世界的な流れである脱石油・脱プラスチックに沿った行動であることには間違いなく、意義のある取組であると理解したい。プラスチックの利用は、最近話題になっている「海洋プラスチックのごみ問題」をはじめ、地球温暖化や多様な廃棄物、資源・エネルギー問題等、地球規模の環境破壊に直接つながる世界共通の課題である。

そのような中で、環境保護の視点からプラスチックを考えていくと、これまで以上にバイオマス为原料としたプラスチックや生分解性のプラスチックに期待が高まっていることがわかる。

### 2. バイオプラスチックについて

本稿では、バイオプラスチックに焦点を当て、その現状と今後の展開などを整理してみたい。

バイオプラスチックは、一般に石油などの化石資源から合成されるものを使用せず、再生可能な植物などを原料につくられ、使用後はごみとなっても自然環境下で簡単に分解されるもの、という印象が持たれているのではないかと

いわれる環境にやさしいプラスチックというエコなイメージが先行しているようにも見える。しかし、その現状はどうだろうか。

また、先に示した「海洋プラスチックのごみ問題」では、マイクロプラスチック<sup>(1)</sup>等の諸問題を解決するために、土壌環境や水環境などの自然界で生分解されるプラスチックの研究開発にも注目が集まっている。そこで特に注目されているものが、「バイオプラスチック」「バイオマスプラスチック」「生分解性プラスチック」と呼ばれるプラスチック材料である。これらは、世界で多くの研究開発が行われているが、その種類は多く、分類の仕方が複雑であるため、はじめにこれらの材料とそれぞれの分類について整理しておく。

### 3. バイオプラスチックの分類

環境にやさしいプラスチック材料として、世界各国で研究開発が進められているプラスチックは、大きく2つに分けられる。1つは、一定の環境条件のもと、自然界に存在している微生物の分泌する酵素の働きによって分解され、最終的に二酸化炭素と水にまで完全に分解される生分解性プラスチック (biodegradable plastic) である。これは、今日まで私たちが使用しているプラスチック同様の機能や物性を持っている。もう一つは、プラスチックの原料として再生可能な有機資源を使用して生産されたバイオマスプラスチック (biomass plastic) である。

ここでいうバイオマス (biomass) とは、動植物や農産物、食品の廃棄物、生物の遺骸、排出物などをいい、石油が原料ではなく植物などの有機資源のことである。そして、生分解性、バイオマスのどちらかの特徴を備えているプラスチックのことをバイオプラスチック (総称) と呼んでいる (日本バイオプラスチック協会)。

生分解性	バイオマス由来	石油由来
ある	生分解性バイオマス由来プラスチック	生分解性石油由来プラスチック
	・ポリ乳酸	・ポリビニルアルコール
	・ポリヒドロキシアルカノエート	・ポリグリコール酸
	・Bio-ポリブチレンサクシネート	・ポリブチレンアジバートテレフタレート
ない	非生分解性バイオマス由来プラスチック	非生分解性石油由来プラスチック
	Bio-PE	ポリエチレン(PE)
	Bio-PET	ポリプロピレン
	Bio-PA(ポリアミド)	ポリスチレンテレフタレート(PET)

出展：Spring-8/SACLA利用者情報Volume15,NO.3Pages150-156より作成

図1 バイオプラスチック (例)

通常の生活の中で、私たちが広く利用しているプラスチックは、非生分解性石油由来のプラスチックが多い (図1)<sup>(2)</sup>。現在、世界各国で研究が進められている「環境に優しい」といわれるプラスチックを分類すると次のようになる。

- バイオマスから生産されており、生分解性を有している生分解性由来のプラスチック。
- 石油から合成されており、生分解性を有する生分解性石油由来のプラスチック。
- バイオマスから生産されてはいるが、生分解性を有しない非生分解性バイオマス由来のプラスチックの3つに大きく分けられる。

一般的にバイオマスプラスチックは、とうもろこしや小麦、木材、ジャガイモ、サトウキビなどの再生可能な植物バイオマスから作られているものを指している。これらは、これまでの石油資源を原料とする化石資源の代替になるプラスチックとして期待されており、多くの研究機関で研究・開発が進められている。バイオマスプラスチックは原料にバイオマスが使用されていけばよいのであって、生物が分解できる (生分解性)、できない (非生分解性) ということ

には関係がない。また、原料や製品の重量の25%以上がバイオマス由来であればバイオマスプラスチックと認定される (日本バイオプラスチック協会)<sup>(3)</sup>。したがって、バイオマスプラスチックはすべて再生可能な材料で作られているというわけではない。

#### 4. 生分解性プラスチックの考え方

1980年代には環境汚染、ごみ問題などを背景に生分解性プラスチックの研究開発がはじまっている。また、2000年代には、資源の枯渇及び地球温暖化への対応から、先に示した化石資源に依存しない、再生可能な有機資源 (バイオマス) を原料として生産されるバイオマスプラスチックの研究開発も活発に行われてきた。

生分解性プラスチックの国際的な定義は、「微生物によって完全に消費され、自然的副産物 (水・二酸化炭素・バイオマス・メタンなど) のみを生じるもの」<sup>(4)</sup>とされている。また、生分解性プラスチックは、その原料がバイオマスでも石油資源由来のものでもどちらでもよく、グリーンプラスチック (green plastic) ともいわれている。現在では自然に還るという考えのもと、様々な容器や包装などに使用されている。

生分解性プラスチックには、バイオマス系と石油系の2種類があり、バイオマス系の生分解性プラスチックとして研究・活用されている代表的なものにポリ乳酸 (以下、PLA) やポリブチレンサクシネート (以下、PBS) などがある。

PLAは、とうもろこしなどの植物からとったでんぷんを乳酸発酵したものを重合して合成されている。発酵に際しては、微生物の力を活用しており、自然環境の土壌中で微生物によって分解される。しかし、現状の生分解性プラスチックには、生分解性だけでなく、強度や耐衝撃性、耐熱性、安定性などが求められており、PLAだけではこれらの機能を持つことは難しい。そのため、多くの目的に合った物性を有する原料の開発がさらに求められている。石油系

の生分解性プラスチックには、石油由来の物質にコハク酸をあわせて作られるPBSやポリエチレンサクシネート（PES）などがある。

## 5. 生分解性材料の開発への期待

世界のプラスチック生産量は年間約4億トンで、そのうち36%は包装材料などのシングルユースプラスチックといわれている<sup>(5)</sup>。また、廃棄プラスチックの収集、処理能力も限られていることから、各国におけるプラスチックの回収率も低く、土壌汚染や河川汚染の原因になっている。さらに、1で取り上げた「海洋プラスチックのごみ」の総量は11億トンとなり、今後、海洋生物の総量を超えるとも予想されている。このような環境問題の中、世界的な課題としてプラスチックの使用等を規制する動きが活発になってきており、生分解性材料から作られているプラスチックへの期待と需要が増している。

これまで示してきた代表的な生分解性プラスチックであるPLAの合成と、開発が進んでいるバイオプラスチック原料について次に示す。

### ① PLA（ポリ乳酸）の合成

PLAは、生分解プラスチックとして、あるいは、バイオマスプラスチック分野の代表的な物質として研究・開発がなされてきた。現在では、PLAの研究は基礎研究から応用研究に入ったといわれており、実用化も進んでいる。その特徴は、とうもろこしなどのバイオマス資源が材料であるため、焼却してもバイオマスの持つカーボンニュートラル<sup>(6)</sup>性から、地球温暖化に影響を与えるCO<sub>2</sub>濃度を上昇させることはない。また、抗菌性を有しているという報告もあり、ペット用品やカーテンなどへの利用にも適している。その反面、耐熱性や耐衝撃性が低いなど、いくつかの研究課題も残っている。

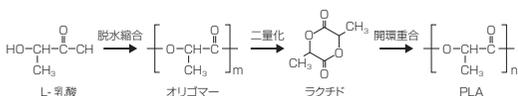


図2 PLAの合成経路

PLAは図2のような経路で合成されるが、この合成は、高等学校の「課題研究」の実験教材としても用いられている。オリゴマー、ラクチドの合成・精製から、PLAの合成・精製へと、有機化学の合成実験として重要な反応過程を学ぶことができる。実験で得られたPLAは、融点やIRスペクトルなどを測定し、物性の評価等を行っているが、自然界での生分解性の実証が課題になっている。

### ② バイオプラスチック原料を大量合成する技術の開発<sup>(7)</sup>

北海道大学の研究グループと三菱ケミカルが、共同で高性能バイオポリエステルであるポリエチレンフラネート（PEF）の原料となるフランジカルボン酸（FDCA）を安定的に効率よく合成できる新しい技術を開発した。PEFは食料と競合しない非可食バイオマス<sup>(8)</sup>のみから合成できる新しいポリエステルで、石油資源由来で生産規模の大きなPETに優る物性を持つといわれており、FDCAの大規模合成を海外のメーカーも進めている分野である。

反応プロセスを次に示す（図3）。

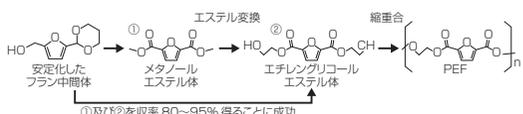


図3 北海道大学 PRESS RELEASE「安定したフラン中間体からのPEF合成」より

また、このプロセスは、PEF原料の生産性を向上させ、合成過程が短縮できることから省エネにもつながるとしている。さらに、現在ではバイオポリエステルを微生物合成し、高性能材料にするための基礎研究も進められている。

## 6. 生分解性プラスチックへの期待

一般的には、やはり生分解性プラスチックと聞くと、環境中で分解され、消えてなくなると思われているのかもしれない。しかし、現状は多様な自然環境の中での状況を必ずしも反映しているとはいえない。実際に自然環境下で生分

解性を評価するには、例えば季節による様々な環境条件下での長期間の試験も必要であり、簡単に結果が出せないのが現状であろう。海洋上のプラスチックごみについても、その厳しい環境を忠実に反映することは簡単ではない。生分解性のプラスチックごみは、自然界の環境下でどのくらいの時間残存しているのか。原料が100% バイオマス由来であれば時間とともに完全に分解していくことは考えられるが、石油由来のものが原料に含まれていれば状況も異なる。

現在の社会でプラスチックを全く使用しない生活は難しく、まず不可能である。したがって、これまでの石油由来のプラスチックの利用を減らすとともに、すべてのプラスチックを生分解性バイオマスプラスチック等に変換するなど、環境への影響を意識した利用が必要である。

また、バイオマスプラスチックのごみについては、社会で効率よく回収し、リサイクルや焼却、または堆肥化するなどの方法を考える必要があるだろう。植物由来で作られたプラスチックの焼却は、それを燃やして二酸化炭素が排出されても大気中の二酸化炭素は事実上増えることにならない。4で取り上げたPLAは海中での分解は難しいが、生分解性プラスチックとして広く利用されており、硬質のポリエチレンの代替としての利用は今後も欠かすことはできない。まずはPLAの利用について計画性を持った回収方法を検討し、焼却や堆肥化なども考えたごみ処理計画等の構築が現実的ではないか。

海洋ごみ問題の解決については、海中で分解できるバイオマス系のポリヒドロキシアルカン酸(PHA)や石油系のポリカプロラクトン(PCL)の分解研究が行われている。今後もこれらの研究・開発を進め、生態系や生物に悪影響を与えずに生物分解できるバイオマスプラスチックの開発が待たれる。

## 7. おわりに

ここまで、バイオプラスチックの現状を再確認してきた。現在、多く利用されているPLAは、研究段階も応用研究へと進んでいるが、それが使用済みのごみとなって街中に漂っている間に、簡単に分解されるものではない。プラスチックの問題は、生分解性というエコなイメージだけでは簡単に解決できるものではないことがあらためて理解できる。

令和2年12月2日～4日まで、幕張メッセを会場として「第9回高機能性プラスチック展」が開催された(図4)。ここでは、樹脂・炭素繊維複合材(CFRP)・バイオプラスチックなどが出展されていた。コロナ禍での開催であったためか、初日は混雑もなく、静かな展示会であったように感じられた。

バイオプラスチック関連の企業では、非可食バイオマスを主原料とした高機能バイオ素材として、樹脂の優れた機能性と日本の伝統的な装飾を施した新しいバイオ素材などの実用化も見られた<sup>(9)</sup>。その他、樹脂の耐久性や加工性(射出成形による量産が可能な成形性とプラスチックと同等の利便性を有している)の実現を目指している企業。さらに、二酸化炭素排出量削減に貢献するとともに、耐久性を持ちながら、自然環境や海洋中などにおいても分解する生分解性の両立を目指している企業など、多くの新し



図4 高機能プラスチック展受付 (R2.12.2)

い研究開発の状況や製品を知ることができた。

日本政府は、2050年の脱炭素社会の実現に向けて、2030年代半ばまでに乗用車の新車販売をすべて電気自動車やハイブリッド車などの電動車にできるように蓄電池の性能を向上させている。このように、多くの課題を抱えながらも社会全体が地球環境の保全に向けた措置を取る方向へ動き始めた。

プラスチック関連のグローバル企業や自治体においても、廃プラスチック削減対策を強化している。

世界全体の廃プラスチックの社会の動きをみると、中国は海外ごみの輸入を禁止(2017.12)し、ベトナム、マレーシアでも廃プラスチック輸入の制限を強化している。今後はプラスチックの過剰な使用を抑制し、賢く利用することで地球温暖化対策にも寄与することが必要である。また、多くのグローバル企業も次のような取組や目標を掲げている<sup>(10)</sup>。

○アディダス：2024年までに、全製品に再生ポリエステルのみを使用する。

○コカ・コーラ：2030年までに、容器に使用するペットボトルと缶を回収し、PETボトルの50%をリサイクル素材にする。

○マクドナルド：2025年までに、容器包装の改良とリサイクル推進を発表、容器包装の100%を再生可能にする。

○スターバックス：2020年までに世界中の店舗で使い捨てストローを全廃し、完全リサイクル可能なプラスチック、カップを開発する。

など。

今回、身近なプラスチックとの関係を再確認する意味で、最近クローズアップされている「レ

ジ袋の有料化」や「海洋プラスチックの問題」を例にとりあげた。バイオマスプラスチックはカーボンニュートラルの物質でもあり、温暖化対策の素材としても優れている。しかし、自然分解しないバイオマスプラスチックも多く、海洋プラスチックの問題も含め、プラスチックのごみ問題への対策は完全に機能しているとはいえない。バイオプラスチックには課題となる内容が多く、まだまだ解決策を見出すのは難しい状況である。今後もバイオ素材の開発やリサイクルの強化はもちろん、プラスチックの廃棄等を含めた管理体制の確立の強化など、地球環境問題全体の解決を意識した取組が必要である。

## 参考資料

- (1) 水の影響や紫外線により細かく粉碎され、粒径が5mm以下になったプラスチックを指す。サイエンス誌に掲載された「Lost at Sea: Where is All the Plastic?」という論文から認識されたといわれる。
- (2) Volume 15. NO. 3 Pages 150 - 156 生分解性バイオポリエステルの高機能化 High Function biilly of Biodegradable Microbial Polyesters-spring- 8/SACLA 利用者情報。
- (3) 日本バイオプラスチック協会 バイオプラスチック概況 平成30年9月19日 プラスチック資源循環戦略小委員会資料資料5より。
- (4) 紆余曲折を経て「アナポリスサミット(1993)」で発表された。
- (5) ペットボトル、レジ袋、ストローのように、1回しか使用しない使い捨てのプラスチック。
- (6) 気候中立：ライフサイクル全体でみたとき、CO<sub>2</sub>の排出量と吸収量が同量であること。
- (7) 「バイオプラスチック原料を大量合成する技術を開発：1段階で、従来の(収率5%)を大幅に上回るFDCAメタノールエステル体及びエチレングリコールエステル体を得ることに成功した(収率80~95%)」北海道大学、PRESS RELEASE 2019.4.11。
- (8) 木材や麦わらなどの食糧問題に影響を及ぼさない非食用の植物資源から抽出されるセルロース。
- (9) NECプラットフォームズ(株)高機能バイオ素材NeCycle展示会資料。
- (10) プラスチックを取り巻く国内外の状況(第4回資料等)Plastics Smartより抜粋。