

植物由来プラスチックへの期待と問題点

資源がバイオマスでも石油でも、生まれつき「環境にやさしいプラスチック」などは存在しません。育ててやさしくするのは、

(財団法人・生産開発科学研究所) 奥 彬

1. 環境にやさしい材料とはどのようなものですか？

世間には「環境にやさしい」という言葉が溢れていますが、それを正しく使用している例は少ないようです。「リサイクル」や「エコ」という言葉が使われる場所でも、言葉の重さを考えずに漠然と使われ、また真の姿を見せたくない本音が隠されています。そもそも生産と消費活動には環境負荷ゼロのものなどなく、そこにはかなりのエネルギーと資源が投入されています。バイオマスや資源作物から有機材料を作るときも、開墾・耕作・収穫・化学原料への変換に、多くのエネルギーと資機材用の資源が消費されています。それを考えると「環境にやさしい」という言葉の多くは正しくないことがわかります。

2. プラスチックが原因の環境負荷

はじめにプラスチック一般の話をしていきます。プラスチックが原因と思われる環境負荷には次の a)、b)、c) 三タイプがあるようです。

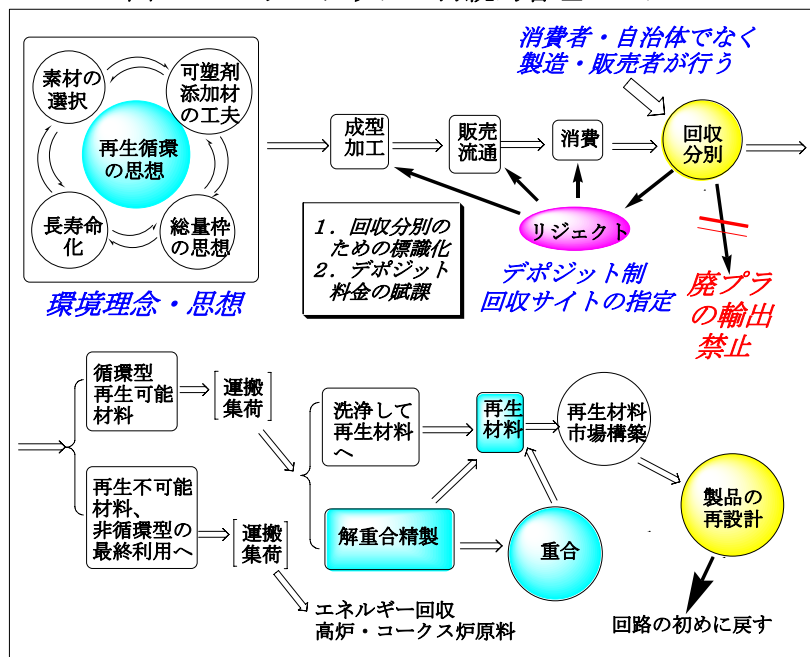
a) 資源と環境への負荷. 現在使用されているプラスチックは、その原料資源のほとんどを石油に頼っています。ところが採掘された石油のほとんどは燃料として消費され、その燃料の大半を消費する運輸・自動車では、将来の燃料をバイオマス由来の水素やエタノールへ切り替える計画を進めながら、自家用車の削減を提唱する国などどこにも存在せず、ましてや燃料の消費総量を制限する政策などは宇宙の彼方に忘れられています。この総量制限のない世界での資源の転換方針は、いまや石油の2割弱を材料と生産に消費しながら、素材生産の嵩量では鉄鋼生産を凌ぐまでになったプラスチック生産にも当てはまります。そこでも「環境にやさしい」、「エコ的」、「畑で採れて自然へ戻せる」といった化粧語句が接頭句として盛んに使われ、生産と消費活動を一段と煽る流れはやみません。

プラスチックの製造原料はまだ当分の間は石油であると思われるから、これから述べる理由と合わせてバイオマスへの過剰の期待は尚早で限界があります。さらに、バイオマスはカーボンニュートラル回路 (carbon neutral circuit, CNC と略記) を経由して持続的に生産できる低環境負荷の再生可能資源 (renewable resource) のように言われていますが、それは必ずしも正しくありません[1,4]。これに廃プラスチック (廃プラと略記) に起因する環境問題の解決策があるかのごとく言い、あるいは CNC の名に便乗して原料をバイオマスシフトしようとしても、環境負荷は決して軽くはなりません。問題の解決には、資源や技術の転換ではなく、いまの産業社会と生活スタイルの変革が必要なのです。

b) 有機材料 (高分子材料) 廃棄物による負荷. 廃プラスチック (廃プラと略記) を燃焼エネルギー回収やコークス代替物に最終利用してしまうか、それとも材料再生に使うかは、材料や商品の開発設計から消費までに関わる当事者の理念と倫理観に左右されます。どうしたら廃プラによる環境

負荷を減らしてプラスチックを再生循環できるのでしょうが、その解答は技術よりもむしろ社会システムと生活スタイルにあります。プラスチックを有機資源として持続的に循環使用する物質管理システム化された産業社会を図1に描いてみました[4]。

図1. プラスチックの持続的管理システム



そもそも散逸した廃プラが分解せずに残っている状態を環境負荷と呼ぶ根拠はどこにもありません。だが現実には、自分たちが散らかした廃プラごみを拾いもせず、目障りだから景観を損ねる、拾うのが面倒だから環境負荷だ、分解しないから負荷だ、といった身勝手な主張が社会をまかり通っています。分解しないプラスチックは環境負荷にならないことくらい考えたらわかることです。だから上のような身勝手に誤った主観と安易で無責任な屁理屈の中に廃プラを引き込むのは、材料の冒涇であり愚人の思い上がりといえましょう。

でも現実にはそのような人間が多くなっていますから、廃プラへ強制的に金銭的価値を与える戦術が必要になります。効果があるのは高額デポジット制の導入です。足元の利得にしか視線を向けない産業界がどれだけ反対しても、それを説き伏せて実施すべき時機がすでに訪れているのです。

一般的に言えるのは、私たちが商品を買求めるとき、その固有の機能と感性に金銭を支払うのであって、それを構成する材料が欲しいのではありません。ですから顧客は、商品機能と感性の役割が終わって材料の塊となった元商品を生産者に返却したい、いつまでも部屋の隅にホコリを被らせておきたくないのです。これを実現可能にする制度を「マテリアルリース制」と呼びます。そこでは客の返却意欲を高めるためにデポジット金制度を広く実施し、返却物の状態が不適切ならデポジットは没収する。例として飲料ボトル1本に30から50円以上のデポジットがつけば捨てる人はいなくなるでしょう。電化製品やCDや包装物でも同じことです。

材料が戻されることになれば、生産者は最初の材料や商品設計の段階から、回収と再生循環を前提とした生産を考えて利益を生み出す工夫をします。これはこれまで不要と看過してきたことへの新たなチャレンジの始まりです。

c) 産業の低い倫理観と安易さを求める生活スタイルの負荷. 消費者ニーズには産業側が演出したものが多く、それに乗せられて不要の消費と短期使用、安易な廃棄に甘んじている個人生活スタイル

ルや、それを経済活性化に結びつける政治経済の責任は大きいと言えます。地球環境と社会生活の持続性を損なわない限界を私たちはすでに超えており、それを実感させる人為起源の変化が社会や地球上にあまりにも多く目につくようになりました。これらは未来世代の億の生命を奪うことに等しいのです。これを「避けられない人間の性（さが）」と諦めてしまう人は「理性の力」を見限りすぎてはいませんか（5で後述）。

バイオマスへのシフトは、資源・環境的に本来は望ましいことです。しかし、現在まで眺めてきた経済産業界の姿勢を見ていると、その期待に対して真摯に応えているのか疑いたくなります。むしろ持続型社会形成の流れに逆行する経済のグローバル化と近視的な企業利益に汲々としているようにしか見えません。何を言いたいのか具体的に言きましょう[2]。

まず私は、社会の性急なバイオマスシフトに危惧を抱いています。そのわけは、プラスチックの扱い方に起因する廃プラ問題を根本から解決しないまま、産業と研究技術者の社会は原料資源のバイオマスシフトを性急に進めているからです。廃プラを安易にエネルギー転換し、あるいは鉄鉱石還元というブラックホールに飲み込み、あるいは畑へ鋤き込み視野から抹消することで問題をクリヤーすると嘯いた社会がまだそこにあるからです。このような産業社会に根本的な廃プラ問題の解決を任せられるのでしょうか。

環境・資源・エネルギー・時間などの物理量は人類にとって有限です。この有限性の中で社会の形成に努力しなければならないのに、いまだに膨張を続ける経済産業社会とそのグローバル化は、それを前提とする総量枠内の血のにじむ努力をすどころか加速さえしているのです。すでに見えている有限の壁に突き当たってからでは遅すぎるのです。

有機資源循環の議論に戻り、資源循環に積極的に取り組む金属材料と比べると廃プラは熱に弱い高分子ですから、手荒な手法で元の高分子へ戻すことは一般に困難です。でも解重合技術を使えば、たいいてい高分子は穏和な条件で選択的に製造原料のモノマーや化学原料へ戻せます。しかるに産業社会は作ることばかりにかまけて、材料をきれいに使わせ回収し元の高分子を再生する技術をほとんど実施していません。そのわけを述べるにはページ不足なので割愛しますが、この流れを作れなければ石油系プラスチックからバイオマス由来高分子へいくら材料シフトしても、環境と資源の破壊を止められないことは明白です。

最近、ポリ乳酸（PLA）を主とするバイオマス由来プラスチック製品に、「エコ」「環境にやさしい」などの文言をつけたものが多く目に付きます。私たちはごまかされないように注意すべきです。大切なことは「氏より育ち」なのです。栽培に始まりバイオマスを採取し PLA を作るまでの環境負荷のみならず、その製品を作る必要性、望ましい使用法、製品の寿命、使用後の材料の扱い方と資源循環のインフラ構築、生活スタイルへの影響、生産者の環境理念、などすべてを通しての負荷削減があつてはじめてこの言葉は意味を持ちます。言葉だけでは資源と環境は守れません、むしろこの言葉を使わない姿勢のほうがよほど環境と資源に誠実な企業態度と言えましょう。

このように技術者の環境倫理観とそれを育む企業経営者の姿勢はとても大切です。研究や技術や生産物が個別に開発段階で正しく思えても、実用化、商品化、普遍化の段階で資源と生活スタイルに正しい展望と「量」の観念（4・A参照）を発揮しないと負荷は増大します。

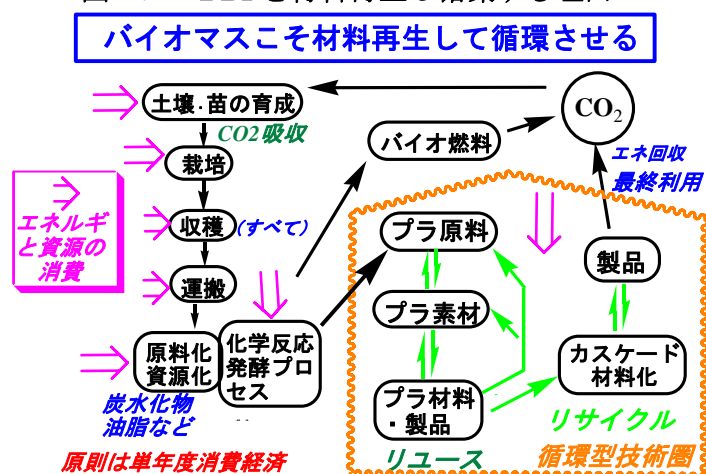
2. 植物由来プラスチック(BBP)の評価は倫理観次第で決まる。

人為的に作り出される植物由来プラスチック（biomass-based plastic, BBP と略記）や石油系プラスチック（petroleum-based plastic, PBP）に、はじめから「善悪」「やさしい」「エコ的」

材料があるわけではありません[3]。その評価には LCA インベントリーに入らない項目：(1) 生産企業の倫理観と意図、(2) 使用目的、(3) 使用方法、(4) 使用後の扱いかたにおける生産者責任、(5) 消費者生活スタイルへの影響、を製品または技術ごとに数値化し評定して積算する必要があります [1,2]。つまり材料の由来や生産技術だけでなく、この五項目とくに(4)と(5)が大切な時代になってきました。そこで、世俗的表現を使って関連する不適切な商品あるいは技術を四つ示してみます。

- (1)材料や製品の設計段階から材料の長寿命化や再生循環を考えず、販売後は消費者と自治体に廃プラの扱いをまかせ、生産・販売量の多さで稼ぐ「片道切符型の商品と技術」。
- (2)使用後の煩雑な洗浄・分別・回収作業を怠けさせ、燃焼や微生物処理で廃棄処分できる安便さが売り物の「凡人閑居為不善型の商品と技術」。
- (3)繰返しリユース（再使用）できるにもかかわらず、それをさせない PET ボトルの回収システム、買物袋の持参を忘れさせるレジ袋の無料配布など「生活習慣病型の商品」。
- (4)廃プラ再材料化の技術を持ちながら実施に取り組まない国内産業が多く、それに取り組む企業があっても、また行政を信じて分別収集に協力する多くの消費者がいても、期待を裏切り廃プラの国外流出を阻止できない「無責任症候群の行政」。

図2. BBPを材料再生し循環する理由



この状態のままで資源をバイオマスシフトしても問題は改善されません。つまり「環境へのやさしさ」は材料の違いではなく産業と行政と生活の改新によりはじめて実現できるものです。バイオマスには原料取込口まで近似的に CNC という血筋の良さがありますから、それ生かすには化学原料までのエネルギー消費と環境劣化原因となる農業工程を省略できる社会内での資源循環システムが不可欠です (図2)。つまり「自然界へ返さず人間社会内で材料再生を繰り返すことが地球環境と次世代への礼筋」となる大切な基本精神です。

3. プラスチックの不善な使い方を BBP に見る

現在の BBP 市場で生分解性を看板とするものには不善な用途が多く見られます。それを意識的に示したものが表1です[1]。表の左列 a, b, i は企業と研究者の倫理観を疑う例、c, d2-3, h, j3-4 は材料回収して循環すべき例、e, f, g は生分解性を機能として主用途に利用するまともな例です。

以前から指摘しているように、“生分解性プラスチック (bio-degradable plastic, BDP と略記、biomass-derived plastic ではない)” の名称を汎用樹脂の BBP に掲げるのは誤りです。汎用プラス

チックは軽くて錆びず長持ちする用途に大量に使われ、生分解させる用途などこれまで皆無でした。

表 1. バイオマス由来プラスチック (BBP) は用途と使い方次第では社会をスポイル生態系から恵みをいただいたあと生態系へ戻さないのが礼儀。当初から分解廃棄を考えるのは邪道

	用途	例 1	例 2	例 3	例 4
a	漁業用資材	漁網・ロープ	釣り糸	浮き具	保冷箱
b	農業用資材	農業用フィルム	農業用ロープ	育苗用マルチ	堆肥化
c	包装・容器材料	シックスパッキング	食品トレー、ラップフィルム	米袋、食品容器	自動車内装品、
d	トイレ紙	生理用品	紙おむつ不織布	化粧品容器	
e	医用材料	手術縫合糸	組織再生補助材料		
f	医薬農薬	薬剤除放材	DDS用		
g	食品素材	食品マイクロカプセル	食品基材		
h	電子材料	パソコン筐体	CD包装フィルム		
i	レジャー用品	海浜レジャー用具	ゴルフティー		
j	日用品	文具、封筒、名刺入	ゴミ袋、水切りネット	不織布袋	簡易食器、レジャー袋

- a, b, i): 使い捨てはとんでもない。回収して循環利用すべし。
 c, d-2,3, h, j): 回収して循環させるシステムをつくること。熱回収は最終手段である。
 d-1): 使い切りなら石油系プラの代替になるが、回収責任はある。
 e, f, g, j-2): 生分解性が主機能の材料として適切。(エコマテリアル学、日科技連 2002 等を参照)

そこへ BDP の名を携えて乗り込んできた産業の魂胆は、「廃棄しても微生物分解に任せられるから販売量が増えビジネスになる」であることが一目瞭然でした。人の怠け心を逆手にとった忌まわしい価値観に研究者と産業界は長らく嵌りこんでいました。さすがにいまは BDP に代わり BBP の名を使いはじめましたが、真の姿は BBP の看板の陰に見え隠れしています。たとえ「プラスチックの実る作物」が現実存在したとしても、それを多量に生産し安易な廃棄と微生物分解に結びつける誤った生活スタイルを押し付けられてはたまりません。それでも世界のグリーンケミストリー研究者には「たとえ植物原料から製造しても生分解性がなければグリーンポリマーとは呼べない」と言う者がいます。さしずめバイオエタノールから作るポリエチレンはグリーンでも BBP でもないのでしょう。自然からの賜物へのこの欧米的傲慢さが日本の科学技術者や産業にも浸透しているように思われて心配です。

原点に戻って素直に言えば、産業は環境負荷の増大するプラスチックを社会のためにと作ってきましたが、それを考え直すのが大切な時代に入ったのです。誰が見ても安易で怠慢な用途はあかんと素直に指摘することを忘れてらおしまいです。

4. プラスチックの望ましい使い方

BBP を含めプラスチックの望ましい扱い方を 5 タイプに集約してみました。

- 1) 使用環境下における材料の長寿命化と使用期間の延長。
- 2) 少なく作り少なく使い長く使う。
- 3) 生産者責任で使用後の効果的な回収システムを編成し材料樹脂を再生する。
- 4) 生産・消費・分別回収の場で PBP と BBP をはじめ素材の住み分けを生産者が実施する。
- 5) 廃プラを国産資源と定義してプラスチック材料のライフサイクルを国と産業が管理する体制を作る。

それぞれ説明を加えたいところですが紙数制限がありつぎの A,B 二つだけにとどめます。

A) 何ごとにも「量の多さ」は環境と資源の大敵です。この少量生産・再生循環・長期使用とい

う新たな価値観にいまの産業社会を導くパラダイムシフトは大事業です。

B) ほとんどの国はバイオマスや廃プラを国産資源として持ちますが、そのコストは地理、気候、社会条件で異なります。そこに WTO 原則を持ち込むと高コスト国の国産資源は利用されず、低コスト国で生産増強、耕地拡大、環境破壊が進みます。だから高コスト国は未利用バイオマスの利用を奨励し、廃プラの国外流出を抑え、材料循環を促進して国際間のコスト差を縮小しなければなりません。

5. 資源を無限化できるカギはここにある

「環境にやさしい」技術や材料をどれだけ案出しても、最大難関である「量の多さ」を解決しないと効果はありません。製造消費の量、生活や旅行輸送の消費エネルギー量、交通の高速化、ビジネスの高速 IT 化など必要以上の「増量効果」に私たちは目が眩み、追い立てられ、罠に嵌まり、そして経済的繁栄と刹那的幸福感を「量」で演出するのに利用されている科学技術の一面しか注視していないのです。

古代オリエントやインダス文明が滅びた原因は、都市型文明の繁栄が水資源の枯渇を招いたからと言われています。それでも人々は都市を捨てて地方へ散ることができました。経済活動が地球規模に拡大したいまはこれに当てはまりません。予想される地球からの報復は桁違いなのに人類は地球から逃れられないのです。速やかにこの罠から脱して地球に謙虚な姿勢へ戻れるのでしょうか。

どうやら人類はエネルギーと物質資源と科学技術に頼りすぎて大切なものを見失ったようです。それは心の内と非物質的な力に価値を見る「第一の知性」と呼べるものです。それに対する「第二の知性」は科学的探究心、未知への憧れ、物質的欲求心など心の外の存在への関心に価値を見るもので、近代になって人類は第二の知性への希求を強め、第一の知性をなおざりにしてきたようです。

表 2. 二十一世紀型有機資源の定義

資源の種類	定義	対象と範囲
1. 化石系資源	地殻・海底中から得られる蓄積有機物質で 大気圏炭素循環系から遮断されたもの	原油、石炭、泥炭、天然ガス、メ タン水合物など
2. バイオマス資源	海中と地表で持続的に生産される物質、そ の一次利用後に生じる資源性のもの	植物資源、動物資源、未利用生物 資源、バイオ系廃棄物など
3. 再生可能な使用済 み資源	初期の使用終了後も物質材料としての再生 力を保持するもの、当初からのように設計 されたもの	廃棄物系プラスチック（化石・バイ オの両方）、繊維、古紙、廃木材な ど
4. 第一の知性（知性 の成熟、食欲の排除、 消費総枠設定）	「吾唯足知」、節約、「もったいない」の心、 長寿命化と長期使用、資源消耗を防ぐ社会 活動と生活習慣	産業活動、生活スタイル、教育的 啓発活動、政治経済政策、外交政 策、社会の方向性

ここでは第一の知性が資源・環境問題の解決に役立つことを述べます。表 2 は従来どおり石油とバイオマスを第 1, 第 2 の有機資源として定義しています。最近はこれに廃プラなどのリサイクル物質を第 3 の資源に加えることが認められています。私はさらに第 4 の資源として前述「第一の知性」を加えています。すなわち生活スタイルを律して「知足の心」を持ち[2]、「節約」して大切に使う習慣です。この知性を発揮すれば科学技術の分野でも材料の長寿命化と長期使用技術が発展

し、経済社会では物質に高い価値を認めて循環再生システムが整備されるでしょう。その結果が資源消費を遅らせ資源創出と同じ効果につながるので、第4の資源として定義できます。新宮秀夫も同様のことをエネルギーについて「節約は最大の資源」として説いています。

この資源環境の持続と無限化への知性の力こそが今世紀を生きる人類の力であり、逃れられない責任と挑戦であり、究極の目標となるものです。

6. 参考文献

- (1) a) 奥 彬「バイオマス・誤解と希望」日本評論社 (2005). b) 奥 彬「持続可能な社会のための化学」、茅幸二ほか編“岩波講座・現代化学への入門”岩波、奥 彬 担当執筆 18 巻 10 章(2001).
 - (2) 奥 彬「持続可能な社会を目指した研究者と技術者の意識改革」、化学 60 (12),46-49 (2005).
 - (3) 山本良一監修「エコマテリアル・ガイド」日科技連:奥 彬 担当執筆 pp. 250, 255, 256 (2004).
 - (4) 奥 彬「資源循環型社会の構築に向けた基本的な考え方」、プラスチック化学リサイクル研究会監修「プラスチックの化学再資源化技術」 pp.26-34、シーエムシー(2005).
 - (5) 新宮秀夫「エネルギー節約は最大の資源・幸福の基礎」、エネルギー・資源 27 (2), 90-95 (2006).
-