オイルベースからバイオベースへの転換

Change from Oil-based to Bio-based

小 原 仁 実

1. はじめに

サブ・プライムローンに端を発した金融危機は実体経済にまで深刻な影響を与え、世界同時不況に突入している。世界中の多くの人が、1929年の大恐慌に対してルーズベルト大統領が行ったニューディール政策のような国家的財政出動が必要と考えているに違いない。ところで、最近グリーン・ニューディール政策という言葉が耳にできるようになった。この政策は、潘基文国連事務総長が訴えている標語であり、クリーンエネルギーへの国家的投資により世界経済を再建することを趣旨としている。彼は、2008年12月に開催されたCOP14で「現在の金融危機は、気候変動問題に取り組む機会でもある。経済危機が拡大する今、緑の成長が数百万の雇用を創出する」と発言している。オリジナルは、英国のニュー・エコノミック財団(NEF)が2008年7月に発行した、金融・気候・エネルギーという「3つの危機」に対する政策をまとめたレポートだ。それに先立ち2006年には、世界銀行の元チーフ・エコノミストであったStern卿が所謂「スターン・レビュー」で、「特段の対策を取らなかった場合、温暖化による損害は最高で世界のGDPの20%にも達するが、これを防ぐための費用は1%程度にとどまる。したがって、今すぐ行動を起こすべきだ」と述べている¹⁾。本稿では、クリーンエネルギーと同様に、地球環境の保全に貢献すると期待されているバイオベースポリマーについて解説する。

2. 炭酸ガスの増加

IPCC第4次評価報告書では「地球温暖化は石油などの化石資源を、燃焼することで発生する炭酸ガスの増加が原因である」と結論づけている。また、同報告では、「循環型社会が形成されれば、21世紀末には1980～1999年に比べ気温は約1.8℃(1.1～2.9℃)、海面は18～38cm、それが形成されなければ、気温は約4.0℃(2.4～6.4℃)、海面は

26～59cm上昇する」としている。石油の消費を削減し、循環型社会を形成することは、今世紀の科学に課せられた重大な任務であろう。この問題は科学だけではなく、国際的な協調体制も不可欠である。そのため、京都議定書で、各国の温暖効果ガスの排出量の削減を定めている。日本は1990年比で6.0%の温暖効果ガスの削減が義務付けられている。しかし、2010年時点でエネルギー起源の炭酸ガス排出量の見通しは、基準年比で約3.9～5.1%の増加が見込まれている²⁾。

3. ピークオイル

炭酸ガス排出抑制のためには、石油の使用を抑制せねばならない。また、この不況から脱出するためには、新たな産業の創世が必要である。だから、石油に依存しない産業を創世しようというわけである。それだけではなく、石油枯渇も現実問題になりつつある。まず、1956年にシェール石油の地質学者Hubbertが、米国の石油生産量が1970年頃にピークを迎えると論文に記載している³⁾。この論文の発表当時、米国は世界一の石油生産国であり、彼の説に対して批判が多かったと伝えられる。しかし、彼の予想通り米国の石油生産量は1971年にピークを迎え、生産量は二度と回復しなかった。彼は同時に世界の石油産出量のピークに関して2006年頃に到来すると算出している。彼の論文以降、他の研究者たちもピークオイルを予想しているが、大方は2010年前後としている(表1)⁴⁾。ピークオイルとは別の見方に可採年数がある。これは、現行の採掘技術で、経済的にも採掘可能な石油の埋蔵量(確認可採埋蔵量)を、その年の石油の年間生産量で割った数で表される。可採年数は石油の価格が上昇すると、経済的に不利な質の悪い原油が確認可採埋蔵量に入る。そのため、原油が枯渇すると

表1 世界の原油生産のピーク予想

Projected Date	Background of authors	References
2006–2007	Oil Executive	5)
2007–2009	Investment banker	6)
After 2007	Petroleum journal editor	7)
Before 2009	Oil company geologist	8)
Before 2010	Vice Provost, Cal Tech	9)
Around 2010	Oil company geologist	10)
After 2010	World Non-Government Org.	11)
2012	Petroleum Engineer	12)
2010–2020	Oil geologist	13)
2016	U.S. DOE	14)
After 2020	Energy consultants	15)
2025 or later	Major oil company	16)

HITOMI OHARA
京都工芸繊維大学 バイオベースマテリアル
学専攻 教授 博士(工学)、博士(農学)
〒606-8585 京都市左京区松ヶ崎
京都工芸繊維大学バイオ
ベースマテリアル学専攻
Tel: 075-724-7689 Fax: 075-724-7689
E-mail: ohara@kit.jp
〈専門〉バイオベースマテリアル学
〈趣味〉空手、ウェイトトレーニング

需給関係から価格が上昇し、可採年数は延命される。今ひとつの問題は、中東を主とした OPEC 諸国の可採年数が 83 年であるのに対して、欧米諸国などの非 OPEC では 27 年、特に米国では 11 年であるということである(図 1)¹⁷⁾。すなわち、石油に代わるエネルギーやプラスチックの原料を開発することは、安全保障の問題でもある。

図 1 世界の原油確認埋蔵量と可採年数

4. バイオベースプラスチック

現在、石油に代わる液体燃料として、バイオマスからエタノールやディーゼル燃料の製造が進められている。このような取り組みは今後も必要であろう。一方、バイオマスから製造するバイオベースプラスチックが石油由来のプラスチックの代替となるだろう。ピークオイルを迎えた、あるいは近いうちに迎えるのだから、原油に依存しないプラスチックの開発は必須である。いまさら言うまでもなく、バイオプラスチックの中でも、ポリ乳酸(PLA)は最も普及が進んでいる。ここで、その環境負荷についてまとめておく。

4.1 製造エネルギー

PLA はバイオマスを原料としているから、カーボンニュートラルと言われる。しかし、製造工程で使用するエネルギーを石油に依存すると、そうは言われてはいられない。図 2 は種々のプラスチックの製造に使用する原料と燃料の石油量をエネルギー換算で示している¹⁸⁾。PLA は原料としては石油を使用していないが、製造時に石油エネルギーを使用すると、炭酸ガスが排出される。その量は、石油系であるポリエチレンや PET、ナイロンよりは少なく、また、同じくバイオベースポリマーである PHA よりも少ない。

図 2 プラスチックの製造に使用する化石原料と化石燃料

4.2 炭酸ガスの固定化

PLA はバイオマスを原料にしているから、製造エネルギーをバイオマスや風力でまかなえば、炭酸ガスを固定化することになる。つまり、木や草が空気中の炭酸ガスを固定化しているのと同様と言うわけである。もし、製造エネルギーをバイオマスと風力によるなら、PLA は 1kg 当たり、1.8kg の炭酸ガスを固定化することになる(図 3)¹⁹⁾。

図 3 原料からペレットまでに発生する炭酸ガスの量

PC、ポリカーボネート； HIPS、耐衝撃性ポリスチレン； GPPS、汎用ポリスチレン； LDPE、低密度ポリスチレン； PET SSP、固相重合 PET； PET AM、非晶性 PET； PLA 1、第一世代 PLA； PLA B/WP、製造エネルギーにバイオマスや風力を使用した PLA

4.3 焼却で発生する炭酸ガス

燃焼させた場合に発生する炭酸ガスの発生量を比較すると、PLA は他のプラスチックに比べてその量が少ない²⁰⁾。1kg の PLA を燃焼させたときに発生する炭酸ガス量は、1.83kg であり、セルロースとほぼ同じ値である(表 2)。この発生する炭酸ガス量は、固定化されている炭酸ガス量であり、図 3 における PLA B/WP の値と一致する。また、微生物による分解であっても、最終的に炭酸ガスにまで分解されると、同じ量の炭酸ガスを発生する。

表2 燃焼時に発生する炭酸ガス量 (g)

種 類	1 g 当たり	1cm ³ 当たり
ポリスチレン	3.38	3.25
ポリエチレン	3.14	3.14
ポリプロピレン	3.14	3.49
ポリカーボネート	2.77	2.31
PET	2.29	1.71
ポリ乳酸	1.83	1.44
ポリカプロラクトン	2.31	2.02
PHB	2.04	1.63
ポリブチレンサクシネート	2.04	1.62
セルロース	1.63	1.07

4.4 生分解性

生分解性がPLAの一つの機能であることは間違いないだろう。PLAは当初生分解性プラスチックとして注目された。ところが、生分解性が求められる製品は比較的安価なので、PLAが高価であった時代には普及が進まなかった。しかし、一昨年夏のように原油価格が上昇すれば、PLAの価格も他のプラスチックと比較して相対的に下り、生分解性が必要な分野で再び注目されるだろう。

生分解性が必要とされる分野としては、食品包材が代表的なものであろう。例えば弁当箱に残った食品をそのままコンポストに投入できるからだ。図4にPLAをコンポストに投入した場合の分解過程を示す²¹⁾。セルロースが投入直後から分解が始まるのに対して、PLAは2週間ほどしてから急激に分解が始まり、60日後には90%の分解度を示している。つまり、PLA中の炭素の90%が炭酸ガスになっている。一方、生ゴミなど水分の多い物はメタン発酵槽に投入される。PLA製の弁当箱であれば、食べ残しが入ったまま、メタン発酵槽に投入できるので利便性が高い(図5)²²⁾。

図4 標準コンポスト中でのポリ乳酸の分解性(ISO 14855)

図5 ポリ乳酸発泡シートのメタン発酵槽中での分解

4.5 燃焼熱量

かつては、PLAは燃焼熱量が少なく²³⁾、焼却炉を傷めないと言われていたが、今では焼却炉の性能も上がり、これが長所とは言えなくなった(図6)。

図6 焼却時に発生する熱量

4.6 リサイクル

表3に製造エネルギーにバイオマスのみ、重油のみ、または両方を使用し、サーマルリサイクル、またはマテリアルリサイクルした場合における、PLAとポリプロピレンからの炭酸ガス発生量を示している²⁴⁾。PLAの全製造エネルギーをバイオマスでまかなった場合は、使用後にサーマルリサイクルすると、炭酸ガス1.94kgの削減効果がある。また、製造エネルギーの30%をバイオマスで、70%を重油でまかなうと、1.22kgの炭酸ガス増加となる。そして、重油のみを使用すると、2.59kgの炭酸ガス増加となる。一方、ポリプロピレンは2.71kgの炭酸ガスを発生する。PLAとポリプロピレンを比較すると、PLAは製造工程で3.3倍の炭酸ガスを発生している。これは、長い年月の間に効率化されたポリプロピレンの製造プロセスと比べると、生まれたばかりのPLAの製造プロセスには、まだ改善の余地があるためと考えられる。

5. おわりに

ベンジャミンは大学生時代に優秀な成績を収め、大学院で何を専攻しようか模索していた。両親も彼の卒業を喜び、ロサンゼルスに帰省した彼のために盛大なホームパーティーを開いた。折しも、その席で初老の紳士マクガイヤー

表3 ポリ乳酸とポリプロピレンの製造時に使用するエネルギーおよび処分方法の違いによる炭酸ガスの発生量(kgCO₂/kg ペレット)

製造エネルギー	ポリ乳酸		ポリプロピレン		
	バイオマス	バイオマス(30%) 重油(70%)	重油		
最終処分方法	サーマルリサイクル			マテリアルリサイクル	
製造工程で発生	0	3.16	4.53	1.38	0
焼却による発生	0	0	0	3.14 (焼却)	0.66 (再チップ化)
サーマルリサイクルによる 石油消費量削減分	-1.94	-1.94	-1.94	-1.81	0
製造から焼却またはマテリアルリサイクルまでのCO ₂ 総発生量	-1.94	1.22	2.59	2.71	0.66

*ポリ乳酸はバイオマスを原料としているので、プラスチック中の炭素は光合成を通じ循環する。よって、焼却により大気中の炭酸ガスは増加しない。

氏が彼の耳元で次のように囁く。“Just one word. Plastics! The great future.” 1967年に製作されたダスティン・ホフマン主演の映画「卒業」での一場面である。銀幕の主人公に自分を投影した諸兄も多いことであろう。当時悩める青年役を演じたダスティン・ホフマンも2008年製作の映画「新しい人生のはじめかた」では、孤独な初老の男のロマンスを演じている。プラスチックの明るい未来に賭けた多くの若者も、今や学会・産業界の重鎮と言われるようになっていない。そして、この映画に自分を投影している方もおられるかも知れない。輝く将来が約束されたプラスチックのその後はどうだろう？ 私たちの身の回りにはプラスチックが溢れている。プラスチックは、20世紀に大成功を取めた科学技術の成果の一つと言って間違いない。ところが、最近、プラスチックは種々の問題の原因とされている。しかし、決してプラスチックの開発が間違っていたのではない。原料を石油からバイオマスに転換し、用途によっては分解性を付与することでプラスチックには新しい輝く未来が約束されている。そして、多くの若者がその将来に賭けることを切望する。“Just one word. Biobased! The great future.”

参考文献

- 1) Stern, N., The Economics of Climate Change: The Stern Review, Cambridge University Press(2007).
- 2) 長期エネルギー需給見通し, 総合資源エネルギー調査会, 需給部会(平成20年5月).
- 3) Hubbert, M. K., Spring Meeting of the Southern District, American Petroleum Institute, Plaza Hotel, San Antonio, Texas, March 7-8-9(1956).
- 4) Hirsch, R. L.: *AIChE J.*, **52**, 2(2006).
- 5) Bakhtiari, A. M. S.: *Oil and Gas J.*, **24**(2004).
- 6) Simmons, M. R.: ASPO Workshop. Paris, France. May 26(2003).
- 7) Skrebowski, C.: *Petroleum Review*. **1**(2004).
- 8) Deffeyes, K. S.: *Hubbert's Peak-The Impending World Oil Shortage*. Princeton University Press(2003).
- 9) Goodstein, D.: *Out of Gas - The End of the Age of Oil*. W.W. Norton(2004).
- 10) Campbell, C. J.: *Oil and Gas J.* **1**, 14(2003).
- 11) Drivers of the Energy Scene. World Energy Council (2003).
- 12) Xiongqi, P.: The challenges brought by shortages of oil and gas in china and their countermeasures. *ASPO Lisbon Conference*. May19-20(2005).
- 13) Laherrere, J.: *Seminar Center of Energy Conversion*. Zurich: Switzerland. May 7(2003).
- 14) DOE EIA: *Long Term World Oil Supply*. April 18 (2000).
- 15) Jackson, P. et al.: *CERA Alert*. **4**, 7(2004).
- 16) Davis, G.: *Meeting Future Energy Needs*. The Bridge. National Academies Press. Summer(2003).
- 17) <http://www.paj.gr.jp/statis/data.html> (石油連盟ホームページ).
- 18) Gerngross, T. U. and Slater, S. C.: *Scientific American*, **8**, 36(2000).
- 19) Vink E. T. H. et al.: *Polymer Degradation and Stability*, **80**, 403(2003).
- 20) 小原仁実: *Contemporary Health Digest*, **14**, 1(1999).
- 21) 小原仁実ら: *日本化学会誌*, **6**, 323(2001).
- 22) バイオマス・プラスチックの普及を実現する技術システムの開発に関するフィージビリティスタディ報告書, 財団法人機械システム振興協会(平成20年3月).
- 23) 小原仁実: *化学と生物*, **34**, 174(1996).
- 24) 小原仁実: 生分解性プラスチックの改質技術と成型加工における課題と対策, 第6章第5節, p.329, 技術情報協会(2003).