

木質資源としてのオイルパーム

—現状と利用開発—

田 中 良 平

1. はじめに

オイルパーム (oil palm, 学名: *Elaeis guineensis*) に対する見方は立場によって様々である。パームオイルを生産する国やその関連産業を持つ地域にとっては、経済を潤す優良な換金作物である。一方、森林や環境を保全する立場から見ると、熱帯林や生物多様性の消失、地球温暖化に繋がりがねない環境悪化の「権化」と映るのであろう。しかしながら、実際のところどちらも‘YES’なのであろう。一方はパームオイルの需要がある限り拡大したい方向にあり、もう一方は縮小したい、悪くともこれ以上増やさないように持っていきたいという考えの上に立つ。これをどのようにバランスを取るか。経済と環境保全の両者が並び立つ「Win-Win」に持ち込むことはできないのだろうか。そのキーの一つとなるのが、パームオイル産業から排出されるバイオマス、すなわち油以外の部分を効果的に利用することによって、産業そのものを循環型に転換することである。

このような観点から本稿ではオイルパームに関わる木質系バイオマスに焦点を当て、その利用の現状や賦存量について報告する。また、筆者らはこれまでにこうした原料が有効に利用されるための技術開発を、世界最大のパームオイル生産国の一つであるマレーシアの研究者と協力して進めてきた。その一端についても後半部分で紹介したい。

2. パームオイルを取り巻く情勢

パームオイルは世界で最も利用されている植物油のひとつである。アフリカ原産のオイルパームに生る果実を搾って油を採取するが、その栽培は主として熱帯地域の広大なプランテーション（植栽地）にて行なわれている。世界のパームオイル生産量は4,300万トン超（2008年）、その85%以上がマレーシアとインドネシアで栽培・生産されており、これらの国にとって国家経済を支える主要な農産物となっている¹⁾。日本にも年間約55万トンのパームオイルが輸入されており、国内の植物油供給量のおよそ1/5を占め、加工食品の製造や洗剤、石鹼の原料などに使われている²⁾。

オイルパームの栽培面積は世界的に年々増加の一途を辿っている。表1はFAO統計による2007年のマレーシア、インドネシアにおける栽培面積（果実採取可能なパームのみ）と果房生産量である³⁾。参考のため、アジア及び世界合計の数値も掲載した。インドネシアでは、2002年からの5年間で栽培面積が63%、果房生産量も67%増加しており、もはやインドネシアがマレーシアを抜き世界一のパームオイル生産国になりつつある。この2カ国で世界全体の栽培面積の6割、果房生産量の8割以上を占める。オイル含有量は果房のおよそ20%であり、2007年の生産量は両国合計で約3,700万トンに上る¹⁾。これは世界のパームオイル生産量のおよそ

Ryohei Tanaka : Utilization of Oil Palm as a Woody Biomass Resource — Recent Situation in the Research and Development

(独)森林総合研究所 バイオマス化学研究領域 領域長

表 1 オイルパーム栽培面積と果房生産量 (2007 年)³⁾

| | 栽培面積 | | 果房生産量 | |
|--------|-----------|-------|------------|-------|
| | ×1,000 ha | % | ×1,000 ton | % |
| マレーシア | 3,741 | 27.0 | 79,100 | 41.1 |
| インドネシア | 4,540 | 32.7 | 78,000 | 40.5 |
| アジア合計 | 8,786 | 63.4 | 164,441 | 85.4 |
| 世界合計 | 13,863 | (100) | 192,503 | (100) |

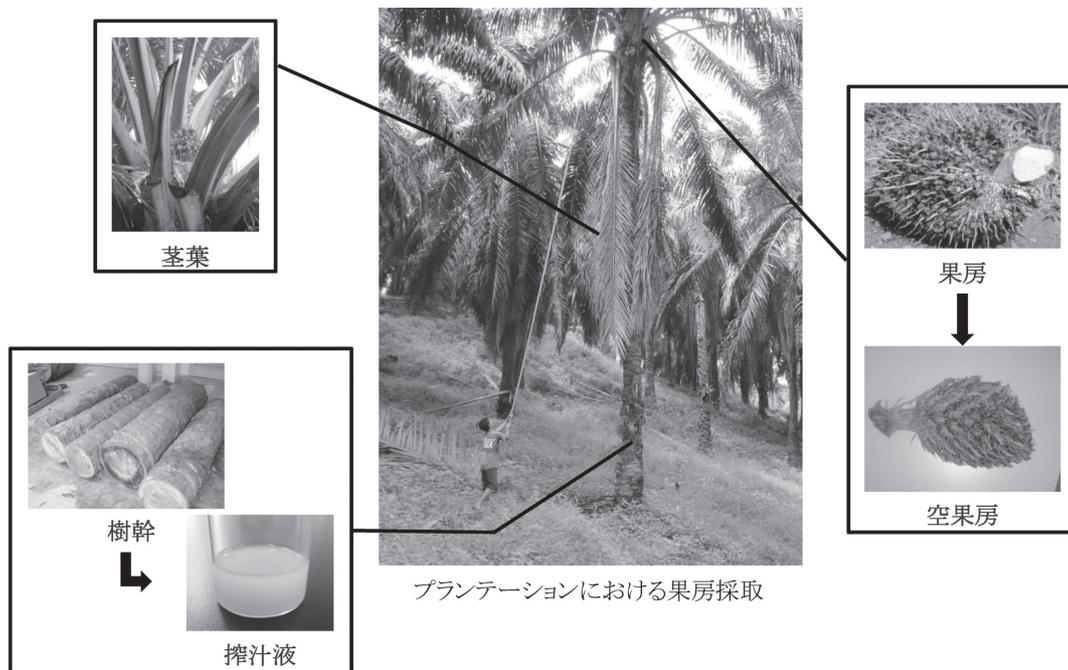


図 1 オイルパームの木質部位

86%に当たり、同産業においてマレーシアとインドネシア両国の占める割合は極めて大きい。

3. オイルパームに由来する木質バイオマス

パームオイルは、現在世界全体で植物油生産量の1/3を占める優良な農作物である。その一方で、パームオイル生産プロセスで排出される木質系バイオマスは膨大であるにもかかわらず、一部が堆肥原料や燃材などに利用されているほかは有効に利用する技術が確立されていないのが実状である。図1はオイルパームの木質部分を部位別に示したものであ

るが、果房部分を構成する木質の繊維部分はパームオイルの搾油工場で、また樹幹と茎葉は植林地（プランテーション）にて廃棄物として放置されている。

果実を採取した後に残る木質の繊維部分は空果房（empty fruit bunches=EFB）と呼ばれる。パームオイルを搾るためにパーム樹幹上部に生る果房を収穫するが、その果房にはおよそ3,000個の果実がついている。パームオイル工場では収穫、集積された果房から果実を外し、その果実を搾ってオイルを採取する。果実を外した後に残される果房が EFB である。やや硬めの繊維が束状になって形成されてお

り、成分的にはセルロースなど多糖類が70%、リグニン17%と木材に似通っている。このようにEFBは果実採取プロセスにおいて大量に排出され、年間を通して一定量が定期的にパームオイル工場に集積されている。EFBの果房に占める割合が7.7%であるという仮定の下⁴⁾、表1の果房生産量から年間排出量を推定すると、マレーシアでは611万トンになる(乾燥重量、2007年)。同様にインドネシアの排出量は602万トンと推定されることから、この両国のEFB排出量は合計で約1,200万トン/年にも上る。日本における国産材の年間用材供給量は18,731千m³(2008年)⁵⁾、気乾密度を0.44g/cm³と仮定するとおよそ820万トン/年、すなわちマレーシア、インドネシア両国で排出されるEFBのみでこの数値を大きく上回る。しかしながら、その2~3割程度が肥料や燃材などに利用される以外、廃棄物として処理されるだけである。この廃棄EFBはかつて工場毎に焼却処分されていたが、現在では煙害規制により一部を除き焼却できない。そのためプランテーションの敷地に房状のまま戻すなど、有用な木質資源であるにもかかわらず、未利用のまま放置されているのが実状である。

オイルパームのプランテーションは経営形態によって規模は様々である。しかしながら、規模の大小に関わらずパーム樹幹(oil palm trunk=OPT)は毎年一定量が伐採の対象となる。一本のパーム樹は高さ5~6メートルから大きいものでは12メートルほどに達し、25~30年経つとオイル収穫量が低下するため伐採更新が必要となり、土地利用の転換など更新目的以外も含めて全栽培地面積の3%程度が毎年伐採の対象となる。Chanの推定値14.47ton/haから計算すると⁴⁾、年3%の伐採では846万トンのOPTがマレーシアにおいて排出されることになる(乾燥重量)。オイルパームの伐採は、木材の場合と異なり材として使うことが目的ではない。その大部分はショベルカーで横倒しにされたのち、厚さ10cm程度にスライスされて伐採した現場に放置される。つまり、自然に土に帰ることを待つわけである。伐採したOPTのごく一部が合板原料としてプ

ランテーション外に持ち出されるが、その量はマレーシア全体の伐採量の3%以下に過ぎない。残りはすべて土に帰され、地力を維持するための役割を担っているものの、木質材料の特性を生かす利用にはほど遠い。因みに、OPTは柔細胞と維管束から構成されており、全体の6~7割は水分である。柔細胞部分は乾燥すると顆粒状になり、この部分に大量の水分が蓄えられているものと考えられる。そのため、伐採現場で簡単にスライスできて処理が容易である一方、材としての利用には強度が出ないために不向きである。合板原料としても単板に剥くことはできるが、貼り合わせる際に上下に広葉樹単板などを使わないと、一定の強度が保てないという欠点がある。このような理由から、現状ではOPTのほとんどが現場で土に帰され、「木質材料」としての利用はほとんど為されていない。

オイルパームの茎葉(OPF=oil palm frond)は樹幹の上部に1本当たり30~50本生えており、その一つ一つの太い茎状部分から薄く長い葉が無数に出ている。果房を採取する作業ではこの茎葉が邪魔になるため、果房1個当たり2~3本が切り落とされ、その幹の根元付近に積み上げられている。これは土壌流出の防止や日陰を作る目的で現場に残すとされている。また、茎葉は樹幹を伐採する時にも大量に裁断されるが、こちらは樹幹と同様に伐採地に放置されるのみである。量的にはEFBや樹幹を大きく上回り、乾燥重量で年間4,000万トン以上がマレーシアにおいて排出されていると推定される(10.83ton/ha/yearとして計算)⁴⁾。茎葉の利用はこれまでに家畜用飼料としての開発があるが、現状ではプランテーション内での堆肥的活用以外にはほとんど利用されていない。なお、茎葉の茎部分は、樹幹と同様に木質の繊維部分のほかに柔細胞を多く含んでおり、乾燥してチップ状にすると樹幹部分とほとんど同じような形状を持つ。

このようにマレーシアおよびインドネシアにおいて、パームオイル産業から排出されるバイオマスは膨大である。量的には茎葉が最も多いが、前述の通りパームオイル工場に集積されているEFBはアク

セスが容易であるせいか、利用に向けた研究が一番進んでいる。また、樹幹も少量とはいえ、合板原料として利用する際にプランテーションサイトから搬出される。筆者らもこの二つのバイオマス原料について、これまでに利用に向けた研究開発を行ってきたのでその一部について紹介する。

4. EFBの利用：パルプ原料

パームオイル産業から大量に排出される木質バイオマスを有効に利用する手段のひとつに、製紙用パルプ原料ならびに加工用の高純度セルロースパルプ原料としてEFBを活用することが挙げられる。まず、研究全体のコンセプトは、環境に配慮したプロセスによってEFBから木材を原料とした従来品と同等の性能を持つパルプを調製することにある。すなわち、ダイオキシンなど有害物質を排出する可能性のある塩素を使わない漂白、土壌汚染の可能性のあるイオウ系化合物を使わない蒸解など、今後の実用化を見据え、環境調和型の産業としてEFBパルプを製造するための研究開発という位置づけである。筆者らの研究ではこれまでに製紙用パルプのほか、フィルム素材のセルロースアセテートなどの原料となる高純度セルロースパルプ（溶解パルプ）の調製も試みた。製紙用については、広葉樹原料に匹敵する紙力強度を有する漂白パルプが得られ、また溶解パルプでは前処理を施すことにより、 α -セルロース含有量が95%に達するものが得られることがわかった。なお、EFBパルプに関する詳細は既報をご参照いただきたい⁶⁾。

これまでのパルプ化に関する研究成果を活用する一例として、マレーシアにおける製紙用パルプ製造を取り上げてみよう。同国のEFB排出量は前述のとおり年間600万トンに及び、ここから収率40%で紙・板紙が生産されると仮定すると、その生産量は250万トン近くに上る。マレーシアにおける紙・板紙の年間消費量は約290万トン、その70%近くを輸入に頼っているのが現状である。消費される紙・板紙には再生紙も含まれることから、EFBからのパルプ生産が可能になれば国内の紙製品はほぼ

完全自給できることになる。また、この紙・板紙生産に伴う市場価格を大まかに10億米ドル程度とすれば、同国にとって経済的に極めてインパクトの大きいマーケットが形成されるわけである。

一方、溶解パルプについては、これを活用するセルロース関連産業が東南アジア諸国において未だ確立されていない。そのため、現状ではすぐに実用化に繋がるかどうか明らかではないが、将来的に高付加価値セルロース製品の製造を基幹とするフィルム、繊維などの産業が、EFB溶解パルプを原料に東南アジア、中国を含む東アジア地域で発展していく可能性を大いに秘めている。

5. 樹幹の利用：搾汁液のエタノール変換

オイルパームはおよそ25年ごとに切り倒して植え替えをする必要があるが、その樹幹は水分が多く強度のバラツキが大きいために用材としての利用価値に乏しい。その一方で、樹幹水分には糖分が多く含まれており、糖原料として利用できる可能性を持つ。そこで筆者らは、樹幹からバイオエタノールを製造する研究開発を行なった⁷⁾。

樹幹から適当な大きさの木片を切り出し、プレス機で圧搾すると図1に示すような搾汁液が得られる。含水率と糖濃度の測定は樹幹（直径32~42cm）の中央部分から厚さ約7cmの円板を切り出し、それをさらに中心から外側にかけて部位別に木片を切り出して行なった（表2）。木材の場合、含水率は樹種や部位によって異なるものの、おおよそ50~200%の範囲内にある（乾量基準、国産材）。一方、オイルパームは各部位の含水率が平均で300%を超

表2 オイルパーム樹幹の含水率と樹液中の糖濃度⁷⁾

| | 含水率* (%) | 糖濃度 (g/L) |
|------|-------------|--------------|
| 中心部 | 468 | 98.1 |
| 中間部分 | 315 | 60.5 |
| 外側 | 210 | 20.1 |

*乾量基準

えており、木材に比べて非常に高い。特に、中心部に向かうほど含水率が高いことがわかった。糖濃度については、試験片をプレス機により圧搾し、搾汁液中に含まれる糖分を測定した。その結果、各部位ともに1 mL中におよそ20~100 mgのエタノールに変換しうる糖（シュクロース、グルコース、フルクトースなど）を含むことが明らかになった。また、その濃度は中心に近い部分のほうが外側よりも高い傾向にあり、幹を部位別に分けることにより効率よく糖濃度の高い樹液を採取できることがわかった。

幹の中心部分から得た搾汁液を、清酒製造用の酵母によりエタノール発酵を行なったところ、糖に対して重量割合で50~60%のエタノールができることが明らかになった⁷⁾。仮に一本のオイルパーム幹が直径40 cm、長さ8 mとすると、密度（含水）はほぼ1 g/cm³なので重さ約1 トンである。これに前述の含水率と搾汁液中の糖濃度から計算すると含有糖量はおよそ30 kg、50%の変換率とすると15 kg(=19 L)ほどのエタノールを生産することができる。マレーシア国内で伐採対象となる面積が3%、1 ha当たり126本のパームと仮定すると⁴⁾、約30万 kL/年のバイオエタノール生産が可能である。すなわち、現状では廃棄物にすぎないオイルパームの幹が、有望なバイオマス由来のエネルギー原料となりうるがこの研究から明らかになった。

6. パームオイル生産国における最近の取り組み

マレーシアのパームオイル産業では、ここ数年、オイルだけでなく、EFBなどの木質バイオマスも有効に利用しようという姿勢が明確になりつつある。特に、プランテーション経営とオイル生産を一貫して運営してきた大手企業では、EFBを紙パルプとエネルギーの原料に利用し、また、オイル工場廃液からもエネルギーを回収する、いわば「バイオマス総合利用システム」の確立に向けた取り組みが始まっている。これらはいずれも政府からの援助を得ながら、すでにシステムの一部が稼働している所もある。すなわち、国を挙げて将来的に持続可能な

パームオイル産業を確立する、という強い姿勢が見られる。

インドネシアにおけるオイルパーム栽培面積は2005年辺りからマレーシアを追い抜き世界一位（表1）、オイル生産量ももはやマレーシアを上回っている。その一方で、バイオマス利用についてはどの程度進んでいるのか、今ひとつ見えてこないのが実情である。これには国の政策や国家の事情なども関連すると思われるが、今後パームオイル産業が飛躍的に発展することが見込まれるインドネシアにおいて、バイオマスを有効に利用することは極めて重要になってくる。インドネシアは広大な国土と二億を越す人口を有することから、オイルパームに関わる問題は東南アジアひいては地球規模の環境保全に大きく関わるものと考えられ、将来を見通した体制作りが望まれる。

前記2カ国に比べて、同じく熱帯アジアに位置するタイにおけるパームオイル産業はまだマイナーな存在である（栽培面積44万 ha、果房生産量640万トン、2007年³⁾）。しかしながら、タイ国政府は将来的にパームオイルからバイオディーゼルを大量に生産する構想を打ち立てており、オイルパーム栽培を大幅に増大させる計画である。生産拡大に伴い、EFBなどバイオマスの大量排出が予想されることから、その有効利用を含めた総合的な利用システムを最初から導入し、持続性のある産業に発展することが望まれる。

一方、利用技術については前述のパルプやエタノールの原料化のほかに、木質ボードやコンポジット材料としての活用に向けた開発が期待される。この分野は廃棄バイオマスの有効利用と同時に、「木質材料」や「高分子材料」としての特性を活かすことにも繋がる。詳細は割愛するが、筆者らは近年「オール植物原料」のコンポジット材料製造を目指し、EFBと組み合わせるべくパームオイル由来物質のポリオール原料化を進めている⁸⁾。

7. おわりに

かつて鬱そうとした熱帯林であった場所が、オイ

ルパーム・プランテーションになったとすれば、もはや多様な生物の存在を望むことはできない。それはオイルパームに限らず、人間の生産活動の場として特定の樹木を栽培すれば、それはかつての森林とは大きく様相が異なる。加えて、人工的な植栽を少しでも自然環境を損なわずに行なうためには、人間が生産物の利用も含めた代謝システムを、うまく働かせてやる必要がある。オイルパームの場合、現状ではオイルのみが都合よく利用されていて、木質のバイオマスは適切な代謝システムにのっているとは言い難い。そこで重要になってくることは、こうしたバイオマスをいかに利用し、少しでも代謝システムが健全に働くように仕向けることである。しかも、その利用は燃材や堆肥としてだけでなく、ボードや紙など炭素を固定するソリッドなマテリアルとして、また、エタノールなど運搬可能なエネルギー源として、うまくバランスよくバイオマスを有効に利用することが、ひいては環境の保全に繋がるキーになると考える。ここで紹介した研究は、将来的にパームオイル産業が循環型+環境保全型になるための一助とすべく進めているものであり、こうした基礎データの蓄積が有効に活かされることを期待したい。

なお、本稿で紹介した研究の一部は、独立行政法人・国際農林水産業研究センターの国際研究プロジェクト、ならびにNEDO提案公募型開発支援研究協力事業において実施されたものである。関係各方面に感謝申し上げます。

〔参考資料〕 1) Malaysia Palm Oil Board ホームページ <http://www.mpob.gov.my/> 2) (社)日本植物油協会ホームページ <http://www.oil.or.jp/> 3) FAO ホームページ (FAOSTAT Statistical Database) <http://faostat.fao.org/> 4) K.W. Chan (1999): Biomass production in the oil palm industry. *In Oil Palm and the Environment: A Malaysian Perspective*, eds. G. Singh et al., Malaysian Oil Palm Growers' Council, Kuala Lumpur, Malaysia, 41-53. 5) 平成21年度森林・林業白書, 林野庁ホームページ <http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/index.html> 6) 田中良平 (2002): パルプ原料としてのオイルパーム木質資源の活用, 熱帯林業 No. 55, 44-51. 7) A. Kosugi et al (2010): Ethanol and lactic acid production using sap squeezed from old oil palm trunks felled for replanting, *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 110 (3), 322-325. 8) R. Tanaka et al (2008): Preparation and characterization of polyurethane foams using a palm oil-based polyol, *Biore-source Technology*, 99 (9), 3810-3816.