

21/03/2012

Jatropha：救世主それとも凡人？

飯山 賢治

(独)国際農林水産業研究センター・前理事長

NPO 法人非木材グリーン協会・副会長

東京大学名誉教授・東京農業大学客員教授

1. 背景

米国で発行されている科学者に限らず一般の読者を対象とした著名な科学雑誌”National Geography”誌 2007 年 10 月号に”Biofuel: The Saviour or Satan?”(「バイオ燃料：救世主それとも悪魔」：日本語版タイトル)という論文が掲載された。バイオ燃料原料の栽培、輸送から燃料製造に投入したエネルギーと製造されたバイオ燃料のエネルギーの比較(LCA：Life Cycle Assessment)の観点から、バイオ燃料(種々のバイオマスを原料とするバイオエタノール: BE 及びバイオディーゼル: BDF)について論じたものであった(表 1)。

表 1. 「バイオ燃料：救世主それとも悪魔」(”National Geography”誌 2007 年 10 月号)

	コーン BE (米国)	サトウキビ BE (ブラジル)	ナタネ油 BDF (ドイツ)	セルロース系 BE (米国)
生産量 (万 kL)	1,840	1,500	189	実用化前
生産コスト (円/L)	33.54	26.77		
小売価格 (円/L)				
化石燃料	93.26	151.12	189.29	
バイオ燃料	80.64	89.87	209.29	
同一エネルギー換算	114.19	119.42	207.14	
エネルギー収支 (投入量 1.0)	1.3	8	2.5	2~36
GHG 排出量 (kg/L)				
化石燃料	2.44	2.44	2.80	2.44
バイオ燃料	1.93	1.07	0.90	0.22
削減率 (%)	22	56	68	91

この他、コーン BE については土地利用の変化による GHG 放出を指摘している。なおセルロース系 BE でエネルギー収支を 2~36 としているが、根拠は不明。米国エネルギー庁もセルロース系 BE のエネルギー収支を 9 程度としている。筆者は純粋なセルロースですら硫酸を使った糖化では硫酸回収まで考慮すると 1.0 以上になることはなく、リグノセルロースを原料とした場合では 0.5 を大きく下回ると試算している。

サトウキビ BE を広範囲に市場化しているブラジル各地では、化石燃料(ガソリン)の 2009 年 6 月の小売価格は 124~132 円/L、バイオ燃料は 66~86 円/L(地方都市で廉価、首都ブラジリアで高価)となっている。日本では JA 新潟が飼料米から燃料用エタノールを製造している。原料米を 20 円/kg と食用米の 1/10 以下で入れているものの、製品エタノールの市場価格は 114 円/L である。

地球温暖化の「元凶」とされている温室効果ガス (Greenhouse Gas: GHG) 排出削減、化石燃料の枯渇対応技術開発、及び主要な産油地である中東産油国の政情不安定による供給の不安定化対応など複雑な状況のもとで、バイオ燃料開発が注目された。第一世代のバイオ燃料は、主にコーン、サトウキビ、ナタネ油、大豆油、パーム油など食用作物及びそれらの加工品そのものを原料としたもので、2007~2008 年の食料価格高騰の要因の一つとされた。2008 年 6 月に FAO (国連食料農業機構) が主催したローマでの食料危機対応ハイレベル会合や、その直後の洞爺湖サミット等でも、食料生産と競合しないバイオマスからのバイオ燃料製造

技術開発、すなわち第二世代バイオ燃料開発の推進が合意された。

具体的には、イネワラ、ムギワラ等農業廃棄物、高光合成能のエネルギー作物の開発、木質資源等、いわゆるリグノセルロースからのバイオ燃料製造技術開発が進められることになった。日本でも経済産業省及び農林水産省の主管で産官学の有識者によって構成される「バイオ燃料技術革新協議会」が2007年11月に設置され、2008年3月にBE製造技術目標について答申が取りまとめられた。

BEについてはその後、NEDOの財政支援を受け、(独)国際農林水産業研究センター利用加工領域が中心となって、リプランテーションのために伐採されたオイルパーム古材樹幹中の樹液から容易に、安価にBEを製造する技術システムが開発された。また農林水産省の補助金を得て東京農業大学のグループは、リグノセルロースを高温での嫌気熱分解して得られる一酸化炭素と水素を含むガス(「合成ガス」、「水性ガス」と呼ばれる)から、ロジウム触媒を用いたフィッシャー・トロプッシュ(FT)反応により高効率でエタノールを製造する技術を開発した(「直接合成法」と呼んでいる)。BE製造ではこれら原料及び技術が、経済的にも、安定的生産にも主流になると考えられる。なお、FT反応はエタノールだけでなくガソリン代替燃料の合成も可能であり、南アフリカ、マレーシア、ニュージーランドなどですでにガソリンとして一部供給されている。

BDFについて、第二世代の原料として注目されているのはクロレラ等光合成単細胞菌類である。単細胞菌類の原形質膜はリン脂質で出来ており、リン脂質含有量はしばしば40%を越す。光合成単細胞菌類は太陽光があたり、そこそこの水温の開放水面でも、また人工光を照射する培養タンク中で容易に増殖し、1週間もすれば収穫可能である。リン脂質を疎水溶媒で抽出することで容易に油分を収集できる。現在、よりリン脂質含有量の高く、増殖の早い菌類の開発が進められている。また上述の「合成ガス」からエタノール製造とは異なる触媒を用いてFT反応で直接軽油代替燃料を合成する取組も進められている。

廃油からのBDFは第二世代ではないが、食料と競合しないということでは検討に値するであろう。1997年京都でのCOP3の際、廃油からのBDFは京都市バスですでに使われた。しかし大量の廃油の収集の困難さからBDFの主流にはならないであろう。

ナンヨウアブラギリ(*Jatropha curcas*:以後 *Jatropha* と呼ぶ)の油脂は、有毒成分(発癌誘導性のホルボールエステル)を含むことから、食用にはならない。しかし伝統的に様々な用途に使われてきた(図1)ことから、第二世代原料及び技術とはいえない。*Jatropha*

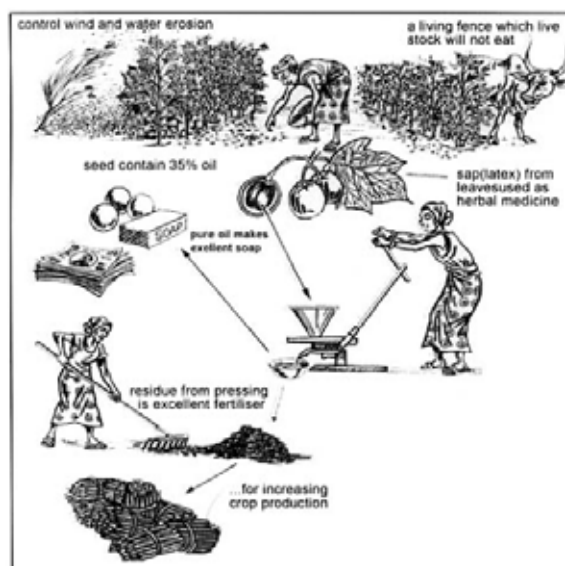


図1. *Jatropha* の伝統的利用

出典: Jongschaap REE. et al. 2007. Claims and facts on *Jatropha curcas* L. Plant Res Intl, Wageningen Rep.158

は BDF の非食用原料として期待され、特に 2006 年～2008 年にかけて原油価格が高騰した状況のもとで（図 2）、国際熱帯半乾燥地作物研究所（ICRISAT）、ドイツの GTZ、インドの国立農業生物研究所をはじめいくつかの国の政府研究機関、BP（英国）、ダッチ（オランダ）等国际石油メジャー、民間企業、NPO 及び NGO 等が一斉に研究開発を進めると共に、開発途上地域での栽培を開始した。しかし、その後、2008

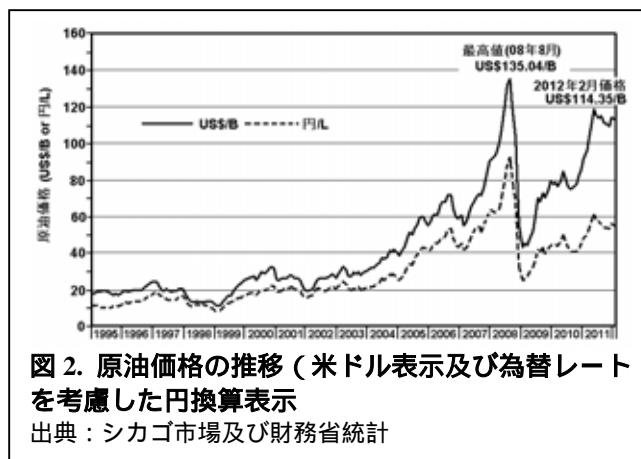


図 2. 原油価格の推移（米ドル表示及び為替レートを考慮した円換算表示

出典：シカゴ市場及び財務省統計

年末以降の原油価格の急落と、Jatropha 種子の高騰、Jatropha 種子の生産性の評価違い等から、国際石油メジャー等は事実上 Jatropha から撤退する状況となっている。原油価格はイランの核開発を巡る経済制裁の下で、2010 年後半から再び上昇しており、2012 年 2 月には 1 バレル（159L）当り 114 ドル（58 円/L）となり、国際情勢によってはさらに上昇することも考えられる。このような情勢の下で Jatropha の栽培が急速に進むかどうか、特に国際石油メジャー

が Jatropha に投資するかどうか、Jatropha の将来を占うことになるであろう。それによって Jatropha は救世主になるのか、凡人のままなのかが決まってくる。

本論では Jatropha からの BDF 製造の技術、経済性及び社会への影響についての私見を紹介する。それらの紹介に先立って、植物としての Jatropha 及びその「農業特性」等について言及する。

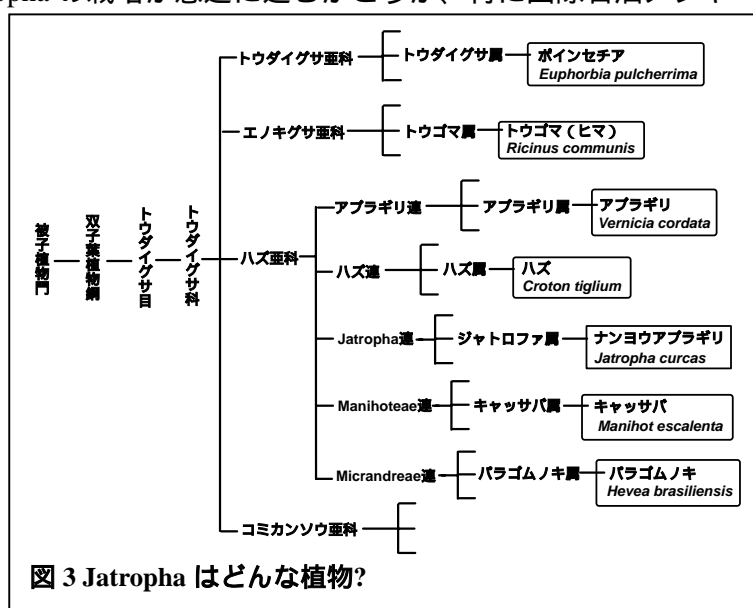


図 3 Jatropha はどんな植物？

2. 植物としての Jatropha

Jatropha はその花序の形などからトウダイグサ科 (Euphorbiaceae：日本語では桐大草科とあてられているようである) に分類されている。トウダイグサ科は大きなグループで約 350 属 7,500 種の植物が含まれる。近縁の植物でよく知られているのは、熱帯・亜熱帯地域の主要作物の一つでタピオカデンプンの原料植物であるキャッサバ (*Manihot esculenta*)、天然ゴムを産出し、熱帯アジアを中心に典型的なプランテーションで植栽されているパラゴムノキ (*Hevea brasiliensis*)、日本でもその種子油が和蠟燭原料として珍重

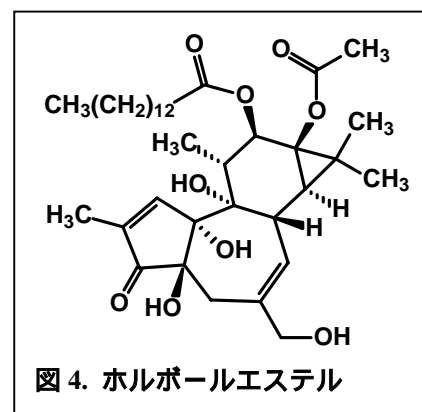


図 4. ホルポールエステル

されたアブラギリ(*Vernicia cordata*)、同様に種子油が和蠟燭原料として使われるが、油分には *Jatropha* の種子油と同じく強い発ガン誘導物質であるホルボールエステル(図 4)を含んでいるハズ(*Croton tiglium*)、学名からもわかるように有毒であるリシンを含んでいるヒマシ油を産出するトウゴマ(*Ricinus communis* : 別名 ヒマ)、さらに観葉植物として良く知られたポインセチア(*Euphorbia pulcherrima*)もトウダイグサ科(*Euphorbiaceae*)であり、科名の由来植物となった植物である。このポインセチアもホルボールエステルを有している。なおハズ(和名: 巴豆)は「神農本草経下品」等に掲載されている漢方薬であるが、日本では毒薬または劇薬に指定されている。

このように、*Jatropha* を含むトウダイグサ科の植物の多くに油溶性のホルボールエステルのような強い発ガン誘導性を有する化合物が含有されており、食用に出来ないばかりでなく、皮膚が弱い人は油分の付着により炎症を起こすことがある(なお、石鹼にするときには油分をアルカリで処理するため、エステルが解離するので水溶性となり、石鹼から除かれると共に、ほぼ無毒となるので石鹼はあんぜんである)。加えて、*Jatropha* を含むトウダイグサ科の多くの植物では、植物体表面を傷つけるとユーフォルビンという毒性の有る白い乳液(クルシンとも呼ばれる有毒の高分子のタンパク質)を出す。

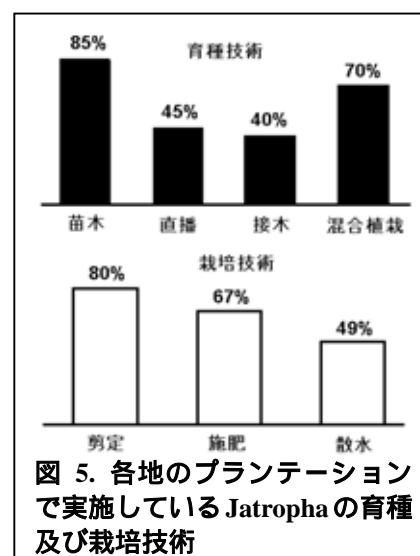
パラゴムノキから得られる天然ゴムの原料であるラテックスも、他のトウダイグサ科植物と同じ「乳液」の成分である。この乳液には有毒のユーフォルビン及び有用で特異的な生理活性を持つレクチンなどが含まれている(タイ・Prince of Songkhla University (PSU) 生化学科 Rappepan 教授からの私信)。レクチンとは一般的には「糖鎖を特異的に認識・結合したり、糖鎖同士を架橋するタンパク質」であり、ウィルスや有害な細菌の表面の糖鎖を特異的に認識・結合してそれらが増殖するのを防ぐことから、風邪などを予防するとともに、ごく最近ペプチド抗体として注目されている。このほか、レクチンは、赤血球を固まらせる働きがあることから「植物性血球凝集素」と呼ばれている。

なお、かずさ DNA 研究所、東京大学、大阪大学等のグループは最近、*Jatropha* の全遺伝子配列を解明し(Sato S. et al. 2011. Sequence analysis of the genome of an oil-bearing tree, *Jatropha curcas* L. DNA Res., 18: 65-76.)、*Jatropha* 油の無毒化に向けた分子工学的研究に取り組んでいる。

3. *Jatropha* の育種及び栽培

Jatropha の原産地は熱帯中南米とされている。17 世紀にポルトガルの貿易船がヨーロッパに持ち込み、ヨーロッパから西アフリカ、南アジア及び東南アジアに拡散していったと考えられている。インドネシアには第二次世界大戦中に日本軍により、航空機及び艦船燃料製造用に持ち込まれた。現在東ジャワのマランに世界最大の品種が集められている。

Jatropha は実生からでも接木でも栽培可能である(図 5)。大部分のプランテーションでは苗木の植栽をしているが、直播および接木も併用されている。70%のプランテーシ



ンで *Jatropha* は「混合植栽」されている。「混合植栽」は食用作物や非食用作物との混植（アグロフォレストリー）であり、未耕作地で *Jatropha* プランテーションが展開している場合には、食料生産の増加につながる可能性がある。JIRCAS も極めて小規模ながらパラグアイでモデル耕地を設定している。*Jatropha* はほとんど手入れは必要ないとされているが、実際には収量を上げるために様々なメンテナンスを行っている。肥料としては *Jatropha* 油の搾りかすや動物の糞尿などの有機肥料に加えて、窒素、リン、カリなどの化成肥料も使われている。アフリカでは散水設備を持つプランテーションは少ないが、アジアやラテンアメリカンでは散水しているところも多い(図 5)。

植物	油含有量, %	油収量		収穫可能年数
		kg/ha	L/ha	
パーム	Kernel 50, fruit 40-70	6,100	7,200	3 to 25
ココナッツ	60-80	2,300	2,700	5 to 25
大豆	18-20	430	510	-
ナタネ	37-50	1,140	1,360	-
ヒマワリ	25-45	910	1,080	-
<i>Jatropha</i>	43-59	2,400	2,900	2 to 40
Neem	33-45	1,320	1,570	10 to 50
Karanj	27-36	3,440	4,100	4 to 50

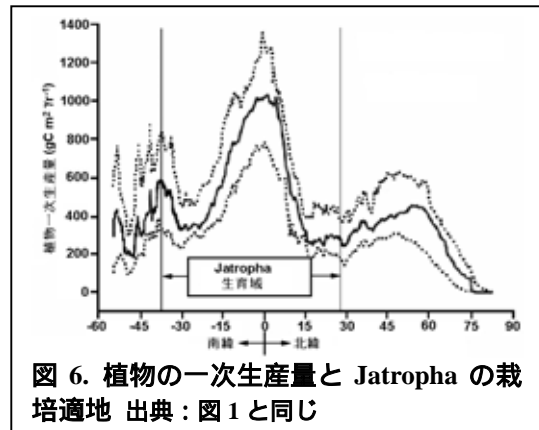


図 6. 植物の一次生産量と *Jatropha* の栽培適地 出典：図 1 と同じ

実生の場合には小型のポットで発芽させ、3 ヶ月ほどで 6~8 葉になったところで N, K 及び P を元肥した栽培地に移植する。植栽間隔は 2.5~3m (1,200~2,000 本/ha)とする。移植後 2 年目には結実し、手入れが良ければ 40 年間収穫可能であるとされている(表 2)。年間降水量 1,200mm で乾季にはスポット灌漑を行っている比較的肥沃な農地(バンコクの西 100km のカンチャナブリにあるカセサート大学農場では、年間を通して年に 3~4 回結実し、収穫可能である。

気温に焦点をあてた *Jatropha* の栽培適地は、植物の一次生産量が高い北緯 27°から南緯 35°である(図 6)。

一般に、*Jatropha* は乾燥に強く年間降水量 400mm 以上の半乾燥地帯でも生育可能であり、さらに農耕地にならない肥沃度の低い荒地地で栽培可能とされている(追加表 1.p9 参照)。しかしながら中国四川省での *Jatropha* 油生産データで示されるように、荒地地での種子油収量は耕作地の 1/3 以下である。このことは、*Jatropha* を商業ベースでの生産を目指すには、食用作物が生産されている耕作地で栽培せざるを得ないことを示している。これまで *Jatropha* は「食料とは競合しない BDF 原料植物」とされていたが、土地利用という点で食料生産に大きく影響することを示している。

前述したように、2007~2008 年の原油価格の急騰とそれに伴う食料価格の急騰に伴って、「食料と競合しないバイオ燃料原料植物」として *Jatropha* は脚光を浴び、British Petroleum (BP) や Dutch Shell など国際石油メジャー資本に加えてダイムラー・クライスラー社などは *J. curcas* が耐乾性であり劣悪な土壤環境で生育できることから、西アフリカ(サヘル)やインドのデ

	低値	高値
油含有量, %	30	41
植栽間隔, 本/ha	1,200	1,950
種子収量(荒地地)、 t/ha	1.7	2.2
種子収量(耕作地)、 t/ha	3.9	7.5
抽出可能油分, %	60	80
BDF(荒地地) L/ha	340	795
BDF(耕作地) L/ha	795	2,840
BDF 変換率、種子/BDF	5.5	3.0

荒地地での種子油収量は優良耕地の 1/3 以下であり、食用作物耕地への侵入が進行

カン高原等開発途上地域で数万 ha におよぶ大規模なプランテーションの展開を図っている(表 4 及び 5)。

表 4. *Jatropha* 栽培面積の現状(2008 年)と計画(2015 年) (単位: 1,000ha)

国	2008	2015	国	2008	2015	国	2008	2015
ガーナ	2	600	ミャンマー	850	4,000	メキシコ	3	100
カメルーン	3	14	マレーシア	2	57	グアテマラ	1	15
ザンビア	35	134	インドネシア	76	5,200	コスタリカ	0	40
エチオピア	1	125	フィリピン	4	1,100	ペルー	0	77
タンザニア	18	166	中国	11	600	ブラジル	16	1,300
マラウィ	5	226	タイ	20	150	コロンビア	1	100
マダガスカル	36	500	カンボディア	0	107	ハイチ	0	5
モザンビーク	8	170	ベトナム	10	300	ホンジュラス	1	10
アフリカ計	105	1,935	ラオス	12	100	中南米計	21	1,647
インド	407	1,900	アジア計	1,390	13,514	世界計	1,518	17,096

栽培可能地域があるオーストラリア、南アフリカは *Jatropha* の栽培を禁止している。

Jatropha 種子の収量は気候(特に降水量)および土地条件で大きく異なるとともに、大規模に植栽したときの病虫害の被害も考えなければならぬ。加えて大規模なプランテーションの開発により食料生産に

影響する事態、「新植民地経済化」も懸念されることから、***Jatropha* は「市場経済の中でのエネルギー源ではなく、地産地消の地域のエネルギー源」としての利用を中心にすすめるべきであろう。**

原油価格の高騰に伴い、開発途上地域ではエネルギーをいかに確保するかが重大な課題となっている。また家畜は *Jatropha* の毒性を認知し、*Jatropha* に近寄らないという特性を生かして農耕地の生垣として使われてきている。サハラ砂漠の南端にあるマリの北部は年降水量 200mm、南部では 1,200mm であり農牧混交地域となっているが、全土で *Jatropha* を生垣として使っている。生垣全長が 2006 年には 28,000 km に達しているマリでは、1m の生垣から年に種子 1kg、オイル 0.25L が採れることから、5,000kL のオイルがとれ、そのオイルを BDF にするのではなく、そのまま小型耕運機、脱穀機や水ポンプの燃料として使用している。インドでもウシが線路に侵入しないよう *Jatropha* を鉄道沿線の生垣として計画的に植栽している。*Jatropha* の原産地の一つと考えられるブラジルではブラジル農牧研究公社(EMBRAPA)のセラード研究所で栽培法の研究を進めている。

4. *Jatropha* 油の特徴と *Jatropha* 油からの BDF 製造

Jatropha のオイルの収量は 2.9kL/ha・年(別のレポートでは種子の収量が 0.5~12t/ha、オイルの収量は 0.2~4kL/ha で前述のように降水量、土壌肥沃度により大きく異なる)とパームオイル(5kL/ha)に比べて高くないが(表 2)、ある程度の塩集積土壌、砂質土壌を含めてどのような土壌でも成長することから、オイルパームを植栽できない地域での栽培が注目された。*Jatropha* 油はその毒性から食用にはできず、石けんや蠟燭の原料、伝統的医薬品として使われ

表 5. *Jatropha* プランテーションの規模

	2008 年	2013 年計画
野生 <i>Jatropha</i> 種子の収集	28	10
パイロットプラント規模	26	20
小規模栽培(～5ha)	26	27
商業規模栽培(1,000ha 未満)	15	22
大規模プランテーション(1,000ha 以上)	5	21
計	100	100

てきたが、BDFの原料として注目されている。

Jatropha はトウダイグサ科の植物であるが、樹皮からクワ科で和紙等伝統的な製紙原料であるコウゾに類似した良質の紙を製造できる。パーム油に比べて単位面積あたりの収量が低い *J. curcas* からの BDF 製造にあたっては、果実の収穫方法を工夫し、「副産物」である樹皮の利用等総合的な利用法を考える必要がある(図 7)。

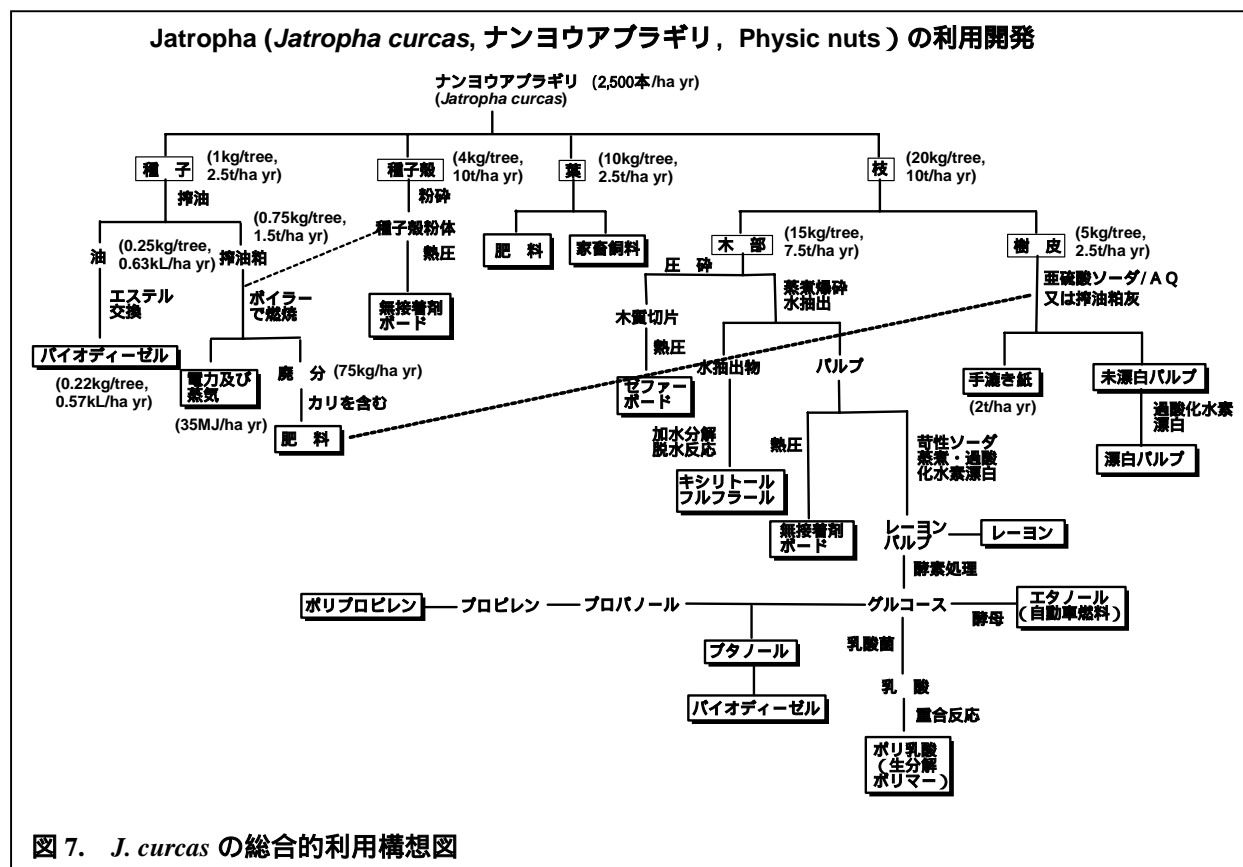


表 6. 種々のオイルの脂肪酸組成 (Azam *et al.*, 2005 から作成) (wt%)

	パーム油	ナタネ油	ダイズ油	トウモロコシ油	<i>Jatropha</i> 油	Neem 油	Karanj 油
油含有率	20	43	20	18	40	45	33
ミリスチン酸	14:0	2			1		
パルミチン酸	16:0	42	5	8	10	15	11
ステアリン酸	18:0	5	2	5	3	10	7
オレイン酸	18:1	43	53	27	35	62	49
リノール酸	18:2	8	28	54	50	8	20
α -リノレン酸	18:3		12	5	2		
アラキドン酸	20:0		1	1		1	4
エイコサン酸	20:1						2

Jatropha: *Jatropha curcas*, *Neem*: *Azadirachta indica*, *Karanj*: *Pongamia pinnata*

Jatropha 油をはじめ全ての油脂はグリセリンの 3 つのアルコール性水酸基に様々な種類の高級脂肪酸がエステル結合している。の脂肪酸組成はナタネ油やコーン油と同様にオレイン酸(C18:1)およびリノール酸(C18:2)のような不飽

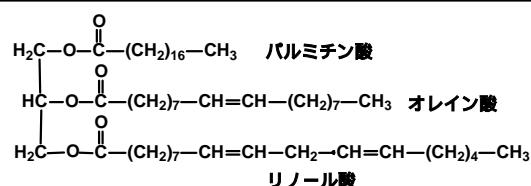


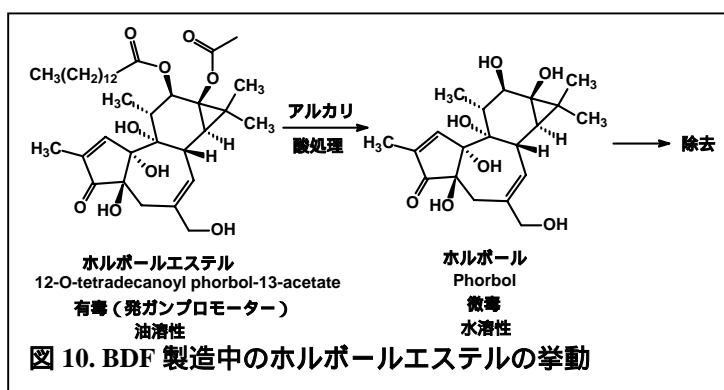
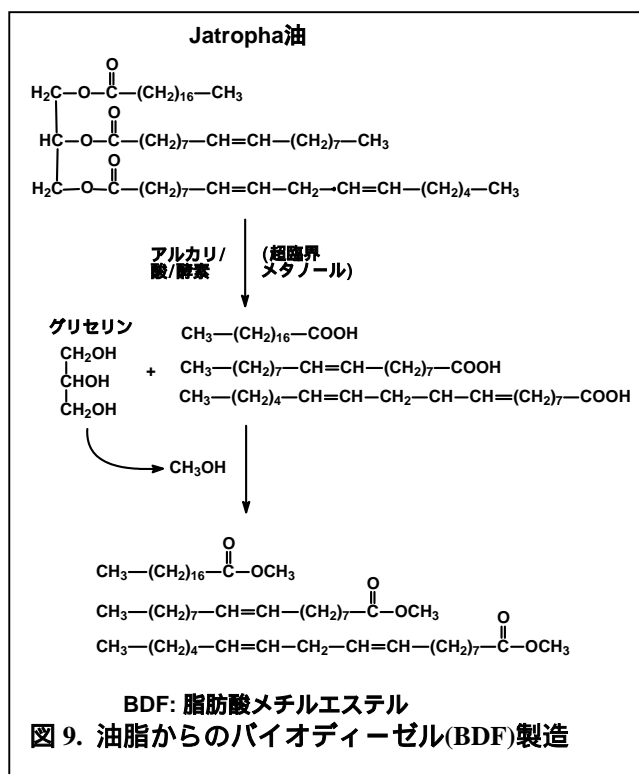
図 8. *Jatropha* 油化学構造の一例

和脂肪酸に富んでいる(表 6)。脂肪酸部分は量的な割合で決まってくるので、一義的に化学構造を示せないが、脂肪酸の割合の高いものを用いた Jatropha 油の化学構造の一例を図 8 に示す。一般的に、不飽和脂肪酸の融点は低く、2 つの二重結合を有するリノール酸は -5°C 、1 つのオレイン酸は 16.3°C である。飽和脂肪酸であるパルミチン酸の融点は 63°C であるが、Jatropha 油はオレイン酸及びリノール酸が主成分であることから、融点は 2°C で常温(15°C)で液状である(表 8 参照)。このことは熱帯から亜熱帯の地域では、BDF にしなくてもそのまま液体燃料として利用可能であることを意味している。すなわち Jatropha の果実から搾油し、わずかに夾雑する微小な固形物をフィルターで除くだけで、そのまま小型耕運機、脱穀機や水ポンプの燃料として使用可能であることを示している。

BDF は油脂をアルカリ又は酸(酵素を使うことも検討されている)で処理することで、脂肪酸のグリセリンエステルからメチルエステルにすることで得られる(図 9)。最近では、超臨界メタノールで直接脂肪酸

メチルエステルにする技術も開発されている。Jatropha 油中の発ガンプロモーターであるホルボールエステル(12-O-tetradecanoyl phorbol-13-acetate)の 2 つのエステル結合は、アルカリ又は酸で容易に開裂してホルボールになって水溶性となるため BDF から除去され、BDF はほぼ無毒化される(図 10)。油脂から石鹸製造の際にもアルカリ処理するためにボールエステルは除去され、無毒となる。

このように製造された BDF のついて、ドイツでは詳細な仕様が設定されている(表 7)。また Jatropha BDF とディーゼル油の比較を表 8 に示す。植物油由来の BDF が自動車用燃料として使えるかどうかの指標の一つとしてセタン価があるが、Jatropha 油そのもののセタン価は 38 であり、自動車用燃料として使われている軽油の 51 に比べてかなり低く、脱穀機や水ポンプの燃料として使えるが、自動車用燃料として使うためにはエステル交換によりメチルエステルにしなければならない。Jatropha 油からの BDF のセタン価は 51 と軽油とほぼ同じであり、その発熱量は 40.3MJ/kg で軽油の 43.3MJ/kg の約 93%である。粘度に加えて発火温度及



び固化温度は軽油に比べて高いが、大気汚染の原因であるイオウ含有量は軽油の 1/10 程度である。

表7. バイオディーゼルの仕様と試験結果

仕 様	ASTM D-6751	限 度	油脂のメチルエステル			
			ヒマワリ油	パーム油	ジャトロファ油	ポングミア油
引火点 (°C)	D-93	Min 130	73	127	163	92
リン含有量 (%)	D-4951	Max 0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
水分/沈殿物 (%)	D-2709	Max 0.050	0.04	0.01	0.05	0.03
CCR100% (%)	D-4530	Max 0.050	0.01	<0.01	<0.01	<0
硫酸塩灰 (%)	D-874	Max 0.020	0.001	ND	ND	0.002
粘度 40°C (cst)	D-445	1.9-6.0	4.103	4.506	4.44	4.16
硫黄 (%)	D-5453	Max 0.05	0.4	0.038	0.020	0.003
セタン価	D-613	Min 47	55.6	54.6	57.1	55.1
中和価	D-664	Max 0.80	0.20	0.24	0.48	0.10
遊離グリセリン	D-6584	Max 0.020	0.02	0.01	0.01	0.01
全グリセリン	D-6584	Max 0.240	0.02	0.01	0.02	0.01
蒸留温度 (360°C)	D-1160	90%	90%	90%	90%	90%

表8. Jatropha 油とディーゼル油の物理的・化学的性状の比較

性状	Jatropha 油及び BDF	ディーゼル油
粘度 (cp) (30°C)	52.6 (5.51)	3.60
比重 (15°C/4°C)	0.917/0.923 (0.881)	0.841/0.85
固化点 (°C)	2.0	0.14
セタン価	51.0 (38)	47.8-59
引火点 (°C)	110/340	80
炭素残渣	0.64	<0.05-<0.15
蒸留温度 (°C)	284-295	<350-<370
硫黄 (%)	0.13-0.16	<1.0-1.2
酸価	1.0-38.2	
ケン化価	188-198	
ヨート価	90.8-112.5	
屈折率 (30°C)	1.47	

()内の数値は BDF にしていない Jatropha 油の値。

表9. Jatropha 油とディーゼル油の比較

	Jatropha 油	ディーゼル油
比重	0.9186	0.82/0.84
引火点	240/110°C	50°C
炭素残渣	0.64	<0.15
セタン価	51.0	>50.0
蒸留温度	295°C	350°C
動的粘度	50.73cs	>2.7cs
硫黄	0.13%	<1.2%
発熱量	40.3MJ/kg	43.3MJ/kg
流動点	8°C	10°C
色	4.0	<4

追加表 1. 降水量の違いによる *Jatropha* 種子 (乾燥) の収率

年降水量	地域	栽培管理法	樹齢	植栽スペース (樹数/ha)	収率 (kg/樹)	収率 (kg/ha)
220	ケーペルデ					200-800
450	インド		1.25		1.73	1,733
500-600						>1,000
600-1,200	タンザニア		1	2.5x2.5(1,600)		6-12
	西ムパンダ		2			12.76
			3			1,235
610	インド/ラジャスタン		2.5		0.13-0.47	313-1,172
800	インド		2	4x3 (833)	1.52	800
815	ブリキナファソ				0.955	
875	タンザニア	混作	3	2x3 (1,668)	0.5-2	1,687.5
	北アルーシャ	単作	3	2.5x1.5 (1,600)	0.5	
1,020	マリ		2		0.3	1,687.5
1,020	マリ	生垣		3m 間隔	0.8	2,640
1,200	ニカラグア		2			2,327
	マナグア		5			5,000
1,370	パラグアイ		3			100
			5			1,000
			8			4,000
1,470	タイ		1		0.32	794
2,000	インドネシア		1	2x2 (2,500)	1.6-2	4,000-5,000
4,000	グアテマラ	灌漑	1	2.5x2.5 (1,600)	0.76	1,250

(飯山みゆき私信)

5. バイオ燃料に向けた新たな視点

Jatropha 油からの BDF について、ジェット燃料(原油留分は軽油及び灯油と同じ)に混入した燃料を使ってニュージーランド航空、日本航空などが航空機を飛行したり、また米国空軍機でも試験飛行を行い、何らの問題も生じなかったと公表している。しかし *Jatropha* 油を原料とする BDF を輸送用燃料として広範囲に使うことは技術的にはあまり問題がないであろう。しかし、経済的及び社会的な影響が大きく、現実的とはいえない。

BDF の原料としては、ローカルな使用では油脂植物として古くから使われてきている *Neem* (*Azadirachta indica*), *Karanj* (*Pongamia pinnata*)なども注目されてきている。*Jatropha* だけでなく *Neem* や *Karanj* などは、熱帯から亜熱帯の植物であるが、ナンキンハゼ(*Triadica sebifera*)及びニワウルシ(*Ailanthus altissima*)などは温帯でも生育する油脂植物である。

市場規模で BDF を供給可能な原料として、クロレラやアオコなど光合成単細胞菌類がある。単細胞菌類の原形質膜はリン脂質であり、容易に脂質を抽出できる。太陽光はもちろん人工光でも生育し、1週間ほどの周期で増殖した菌類を収穫できる。リン脂質の含有量は40%を超えるものもあるが、さらに含有量の高い菌類の選抜及び遺伝子工学の技術を用いて改良を進めるなど、開発課題を有している。

もう一つは、木質バイオマスを含むリグノセルロースをほぼ嫌気的な条件で高温熱分解することによって生成するガス(一酸化炭素、水素及びメタンを含み、「合成ガス」と呼んでいる)を、触媒を用いてフィッシャー・トロプシュ反応により液体燃料を製造するというものである(図 11)。この方法は石炭の液化を目的として開発され、既に数多くの実施例がある。

メタノールをガソリンに変換することから MTG (Methanol to Gasoline)法と呼ばれる技術($\text{CO} + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}$, $n\text{CH}_3\text{OH} \rightarrow \text{C}_n\text{H}_{2n} + n\text{H}_2\text{O}$)に基づいて、モービル社が 1985 年にニュージーランドに商業プラント(14,450 バレル/日(2,300kL/日)のガソリンを製造)を稼動。ゼオライト触媒 ZSM-5 を利用。

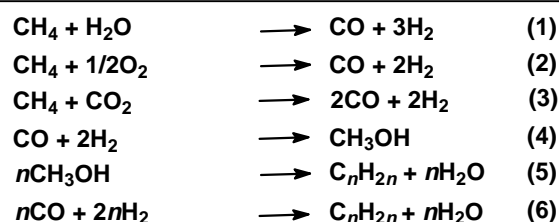


図 11. 「合成ガス」からの液体燃料の製造反応。フィッシャー・トロプシュ反応は(6)式

CO から高級炭化水素を合成する古くから知られている反応($n\text{CO} + 2n\text{H}_2 \rightarrow \text{C}_n\text{H}_{2n} + n\text{H}_2\text{O}$: フィッシャー・トロプシュ反応)を改良した SMDS(Shell Middle Distillate Synthesis)法により、シェル社はマレーシアで 1993 年に商業プラント(12,000 バレル/日(1,900kL/日)のガソリンを製造)を稼動している。製品はガソリンにブレンドしてマレーシア国内向けで消費されている。

南アフリカ共和国のサソール(SASOL)社は石炭と天然ガスを原料として種々の合成石油製品を作っている。サソールは同国のディーゼル燃料の大部分を供給している。南アフリカでは、アパルトヘイト政策をしいたことによって国際的に孤立した状況下でエネルギー需要を満たすために本法が開発され、用いられている。

米国のシントロリウム(Syntroleum)社はオクラホマ州タルサ(Tulsa)の実験プラントにおいて、フィッシャー・トロプシュ法によってこれまで 40 万ガロン(1,500kL)以上のディーゼル燃料やジェット燃料を作り出している。アメリカ合衆国エネルギー省と運輸省は天然ガスを原料として製造される高純度・低硫黄の燃料の利用を検討しており、ごく最近では国防総省もエドワーズ空軍基地での B-52 爆撃機のジェット燃料飛行試験で使用している。シントロリウムは同社が独占的に保有するフィッシャー・トロプシュ法の技術を商業化し、アメリカ、中国、ドイツにおいて石炭の液化工場を、また世界各地においてガス液化工場を設立する動きをみせている。

アメリカの小企業レンテック(Rentech)社は、窒素肥料工場で使用する原料を天然ガスから石炭かコークスに置きかえ、副生物として液体炭化水素が得られるようにすることを計画している。

ドイツではコーレン(Choren)社、CWT(Changing World Technologies)社、アルケム・フィールド・サービシズ(Alchem Field Services)社、GTL コーポレーションがフィッシャー・トロプシュ法や類似の過程のための工場を建設している。アルケムと GTL はマイクロ GTL と呼ばれる技術によって、小型の設備をガス田で直接使っている。

2005 年 9 月、米国ウェスト・マネジメント・アンド・プロセッサーズ(Waste Management and Processors Inc.)社はシェルとサソールの技術提供を受け、ペンシルベニア州北西部マハノイ・シティ郊外にフィッシャー・トロプシュ法を用いて廃石炭(採掘過程の残渣)から低硫黄ディーゼル燃料を製造する工場を建設した。

2006 年 10 月、フィンランドの製紙・パルプ工業会社 UPM は、ヨーロッパの紙・パルプ工場において、それらの製造に伴って生じる廃バイオマス为原料とし、フィッシャー・ト

ロブシュ法によってディーゼル燃料の製造を行うと発表した。

このように固体または液体化石燃料からガソリン代替燃料等、様々な合成液体燃料製造技術として確立してきており、今後木質バイオマスのエネルギー化の主流になると予想される。木質バイオマスのガス化合成液体製造時の固体残渣、すなわち木炭のエネルギーとしての有効利用及びフィッシャー・トロブシュ反応の有効な触媒の開発が期待されている。

連絡先：k_iiyama011@yahoo.co.jp

k_iiyama2011@guitar.ocn.ne.jp