

新規バイオ燃料用の油糧作物の開発（要旨）
～ジャトロファ・クルカス（*Jatropha Curcas* Linn.）～

戦略・産業ユニット・新エネルギーグループ
CHEW CHONG SIANG 研究員

バイオ燃料の開発ブームは、森林破壊、食糧問題などの懸念を引き起こし、食用油を利用した燃料への転換は批判的となる風潮を引き起こした。この批判に応える形で寵児として登場したのは非食用油ジャトロファ・クルカスである。しかし、ジャトロファ・クルカスが農作物として栽培されてきた経験はまだ浅く、農業技術としても未だに確立されていない。ジャトロファ・クルカスは、商業ベースプランテーションとして確立するまで、ある一定の研究開発期間を経なければならない。にもかかわらず、多くの国、企業は、大規模なプランテーション開発に資本注入を進めようとしている。本稿は、こうした状況を憂慮、現時点では乏しいジャトロファ・クルカスの情報の中で、可能な限り植物としての基本情報を提供する。そして、原料作物としての開発には、上流の栽培技術、品種改良、農園管理ノウハウ、中間の流通・加工・精製、下流市場の利用技術の確立などいくつか乗り越えないといけない障壁・課題が存在していることを紹介する。また、アジア地域におけるジャトロファ・クルカスの開発概要をまとめ、今後この産業の可能性を考察する。

お問い合わせ : report@tky.ieej.or.jp

新規バイオ燃料用の油糧作物の開発 ～ジャトロファ・クルカス (Jatropha Curcas Linn.) ～

戦略・産業ユニット・新エネルギーグループ

CHEW CHONG SIANG 研究員

はじめに

原油価格高騰、地球温暖化などエネルギー国際市場に係るマクロな動向は、バイオ燃料への注目度を高めることとなった。その中、米国のエタノール政策と EU のバイオ燃料指令に牽引され、世界各国の政府は次々とバイオ燃料政策を導入し、バイオ燃料産業への期待が高まっている。他方、バイオ燃料産業の発展につれて、食料問題、環境問題、政治問題との関係が懸念されている。多くの議論の中では、食料供給への影響が最も懸念されている。従来の油糧作物であるパーム、大豆、菜種、ココナッツなどの何れもが食用油として生産されており、燃料への転換が食料供給および食料価格への影響から、特に貧困層への打撃を考えると受け入れがたいとの指摘も見られるようになっている。特にバイオ燃料の原料として競争力のあるパーム油への期待は、石油価格の高騰によって高くなった。しかし、パーム油への需要の集中による食料や森林破壊への影響が深刻化しており、パーム油をバイオ燃料の原料として導入することに対する国際的な批判が高まっている。

この様な世論に押されて、各国政府や企業は、ジャトロファ・クルカスに注目を集めるようになった。ジャトロファ・クルカスは、毒性があるため食用に用いられず、農業用地ではなく荒地で栽培できると言われることから、食料と競合しないことになる。従来のバイオディーゼルの油糧作物が食料との競合の点で批判を受ける中で、ジャトロファ・クルカスは食糧供給を圧迫しないことにより注目を浴びている。しかし、現在広まっているジャトロファ・クルカスに関する情報の多くは、十分な根拠を持った研究データに基づいたものではなく、誤った情報がかなり含まれている。本稿は、ジャトロファ・クルカスについて、情報が乏しい現状を踏まえて、植物としてジャトロファ・クルカスの基本情報を始め、アジア地域における開発動向を中心に紹介し、今後の開発可能性について考察したものである。

1. ジャトロファ・クルカス (Jatropha Curcas Linn.) の基本情報

ジャトロファ・クルカスへの注目は特に最近始まったことではない。石油価格が高騰する以前から既に国連はアフリカ諸国の貧困対策としてジャトロファ・クルカスの栽培を進めている。国連は、農業に適さない土地で栽培されたジャトロファ・クルカスから得られた油を農民の生活燃料として利用し、貧困農村の燃料対策として進めている。このことから、ジャトロファ・クルカスは「荒地・痩せた土地でも育ち、水、肥料、管理をあまり求

めない、含油率も高い」という植物として世界中に知られるようになった。しかし、その後の商業ベースにおいて開発を進めるにあたり、この触込みが多く誤解を生む原因となっている。さらに詳細の話に入っていく前に、ジャトロファ・クルカスはどういうものであるか、その概要を紹介しよう。

1.1 ジャトロファ・クルカスの特徴

(1) 植物の分類・特徴

ジャトロファ・クルカスは、植物として以下のように分類されている。

門名： 種子植物 (Spermatophyta)

類名： 双子葉類 (Dicotyledonae)

科名： トウダイグサ科 (Euphorbiaceae)

属名： ジャトロファ (Jatropha)

学名： ジャトロファ・クルカス (Jatropha Curcas Linn.)

ジャトロファの名前の由来は、Yunani 語¹の Latros (医者) と trophe (食糧また栄養) を語源とすると考えられている。ジャトロファは世界各地で生殖しており、広範囲の地域で確認されている。また、同じ属名 (Genus) の植物は少なくとも 170 種類余り確認されている。ジャトロファ属名の中で、ジャトロファ・クルカスはバイオディーゼルの原料作物として注目されている。ジャトロファ・クルカスは、1753 年に Linnaeus 氏によって分類され命名されたと言われている。

ジャトロファ・クルカスはカリブ海周辺が原産地であると言われているが、アジア地域に生殖するようになったのは、大航海時代にヨーロッパ人により東南アジア地域に持ち込まれたためと考えられている。当時のヨーロッパ諸国は植民地政策を実施し、香辛料を求めて東南アジア地域に盛んに来航していた。ジャトロファ・クルカスは航海上の船舶内の燃料として照明や炊事に用いたと言われている。しかし、このことを明確に記載している文献が見付かっていないため、実際の伝播ルートについて更なる研究が必要である。何故なら、植民地になっていないタイや中国南部の四川省、広西自治区、雲南省、海南省などの地域にも広く生殖していることが確認されているからである。

現在、ジャトロファ・クルカスの分布範囲は実に広い。原産地のカリブ海周辺を始め、世界各大陸に熱帯地域から亜熱帯地域まで分布している。植物として非常に生命力が強く、環境変化への適応能力が高いため、分布範囲も広い。また、各国にそれぞれの呼び名を持っている。よく知られている名前として、Physic nut (英語)、Purgiemuss (ドイツ語)、Pignon D'Inde (フランス語)、Bagbherenda (ヒンディー語)、Jarak Pagar (インドネシ

¹ Yunani 語は、印欧語系を源流にギリシア語の一つの支流で西地中海地域に話されている言語である。現在、地中海の浮かぶ島国、キプロス共和国を中心に使われている。

ア語／マレーシア語)、Sabuu Dam (タイ語)、小桐子 (中国)、ナンヨウアブラギリ (日本) などの名前と呼ばれている。

(2) 生殖条件

ジャトロファ・クルカスは種の直播や取木でも容易に繁殖できるので、栽培に対して比較的手のかからない植物とされる。また多肉植物であり、乾期の間その葉や根に多くの水分を保存できるため、乾燥地域で幅広く栽培が可能となっている。年間降雨量については、平均 480～2,380mm の地域によく適しており、年間降雨量が 200～1,500mm とかなり少ない地域でも育つことが出来る。ジャトロファ・クルカスは水の他、多くの肥養も必要とせず、荒廃地や不毛地等でも、標高 500～1,000 メートルの土地でも生息できる。気温に対する適応能力は高いが、よく育つには 20℃以上の気温が必要である。

図1 ジャトロファ・クルカスの花、果実と種



花



果実



果実内部



種

(出所) BDF MALAYSIA SDN. BHD. の提供。

(3) 農作としての栽培

一般的に、ジャトロファ・クルカスは 1 年程度²で実をつけ始め、5 年目を過ぎたあたりから安定した収穫期に入る。植物としての寿命樹齢は約 50 年、経済生産期間は約 25～30 年間と推定されているが、実際の商業ベースの生産実績を持っていないため、その生産曲線が殆どわかっていない。5 年目を過ぎてからは、気候と管理の条件により年間でヘクタール当たり 3～12 トンの種子³を生産すると言われている。

種子に占める油分の割合は、品種、気候条件、地域によって異なっている。インド TERI の報告では 25%～38% との報告となっているが、一般的には種ごとに直接搾油した場合 25～30% 程度の搾油率が多く、油としての生産量はヘクタール当たり 1.5 トン程度と報告されている。ジャトロファ・クルカス油の平均単位面積当たりの収穫量はパーム油の 4 トン程度と比べて少ない。しかし、商業ベースの農園が形成されておらず、今までの利用は主に農家の垣根として栽培されているか、または薬用としての伝統的な製法のみに限られてきたため、単位面積当たりの種子の収穫量増加を目的とした品種改良が行われて来なかった。

1.2 ジャトロファ・クルカスのバイオ燃料転換

ジャトロファ・クルカスは果樹から果実を採集し、果皮・果肉と種子の分離、種子の乾燥⁴、搾油、濾過などを経てはじめてジャトロファ・クルカスの油 (Crude Jatropha Oil, 以下 CJO と略す) が出来上がる。商業ベースのプランテーション開発には、栽培から収穫まで、高度な管理ノウハウが必要である。

一つの果実の中に 3 つの種子が入っており、一粒の種子は平均 0.7 グラム⁵となっている。一粒の種子⁶は、殻 (±35%) と核・仁 (±65%) から成り立っている。核・仁から搾油すると、核・仁の搾り粕 (40～50%) と粗油 (50～60%) が得られる。現在では、一般的に核・仁と殻の分離をせず、直接に種子を用いて搾油するケースが殆どである。この場合は、種子の搾り粕 (70～75%) と粗油 (25～30%) が生成される。核・仁の搾り粕または種子の搾り粕は、高い蛋白質が含まれており、肥料または飼料として加工することができる。しかし、有毒蛋白質のクルシン (Curcin) が含まれているため、現在では有機肥料または固体バイオマス燃料のペレットやブリケットの形状に換え、固体燃料として利用することが想定されているケースが多い。図 2 では、核・仁から搾油した場合と種子を直接に搾油した場合の各プロセスにおけるそれぞれの比率を示す。

² マレーシア、インドネシア、ブラジルなど熱帯多湿気候では 6 ヶ月で開花するが、インド、中国、ベトナムなどでは約 1 年以降開花する事例が一般的である。

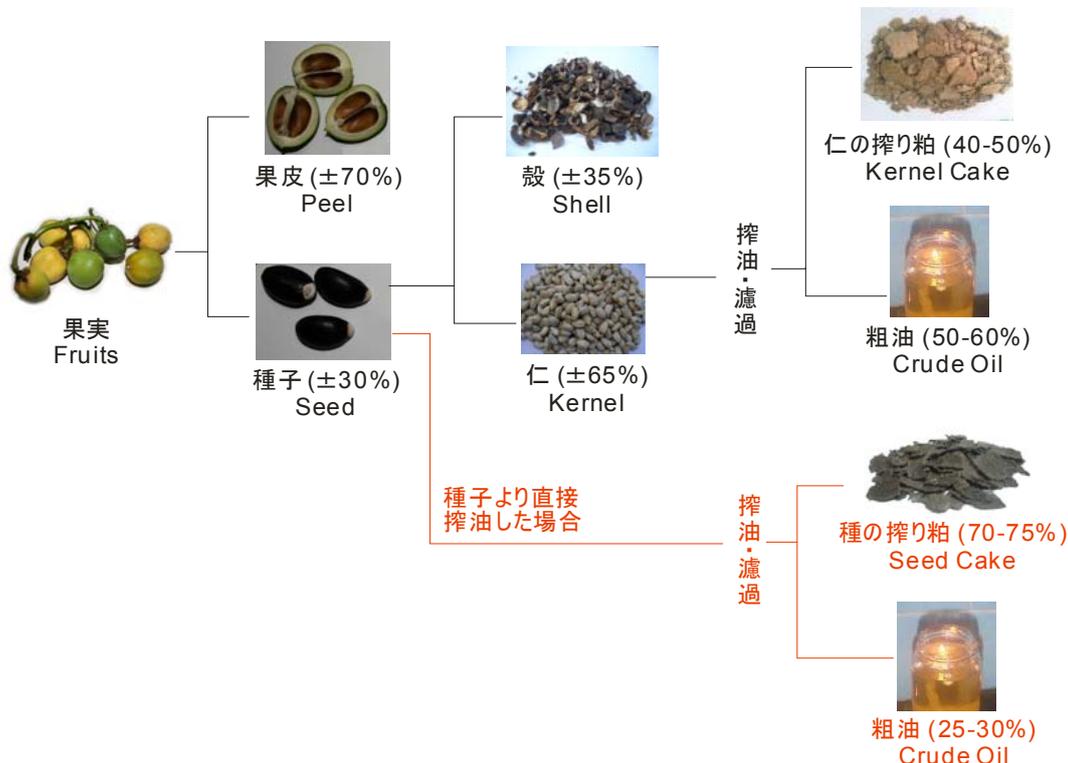
³ 栽培条件によって、種子の生産量はかなり異なる。商業ベースで経営するには、気候、土質、栽培技術、管理ノウハウなどの条件を揃う必要がある。

⁴ 日陰の条件で 3 日間ほど自然乾燥を行う。

⁵ 各地の気候、品種により、種子の重さは異なる。一般的では、0.5～0.8 グラムの普通である。

⁶ 一般的には、乾燥した種子の含水率は約 5% である。

図 2 ジャトロファ・クルカスからの生産物及び副産物重量



(出所) BDF MALAYSIA SDN. BHD.の提供。

ジャトロファ・クルカスの果実採集の段階から CJO までの過程において、適切な管理が行われていない場合、生成された CJO の遊離脂肪酸 (FFA) の含有率が上昇し、バイオディーゼルの精製プロセスに影響を与える。そのため、収穫後早目に防止処理を行うことにより解決を図る等の対策を取らないといけない。CJO をバイオディーゼルとして使用する場合には、飽和脂肪酸が多量に含まれ、酸化安定性が高く、低温流動性も良い⁷などの利点があるとされる。

表 1 ジャトロファ油の化学性状

パラメーター	単位	数値
酸価 (Acid Value)	mg KOH/g oil	38.2
けん化価 (Saponification Value)	mg KOH/g oil	195
(Lodin Value)	mg iod/g oil	101.7
脂肪酸 (Fatty Acid)	%	
パルミチン酸 (Palmitic Acid)		14.2
ステアリン酸 (Stearic Acid)		6.9
オレイン酸 (Oleic Acid)		43.1
リノール酸 (Linoleic Acid)		34.3
その他 (Other)		1.4

(出所) Surfactant and Bioenergy Research Center (SBRC), Bogor Agricultural University

⁷ BP ヒアリング(2008 年 2 月)。

表 2 ジャトロファ・クルカス油の物理性状

性状	単位	数値
引火点	°C	236
密度 (15°C)	g/cm ³	0.9177
粘度 (30°C)	mm ² /s	49.15
残留炭素	%(m/m)	0.34
灰分・硫酸	%(m/m)	0.007
流動点	°C	-2.5
水分	ppm	935
硫黄分	ppm	<1
セタン価*		39
熱量*	MJ/kg	39.35

(出所) Hamball et al (2006), * Valtllngom and liennard (1997) in Gubitz et al (1997)

以下にインドにおけるジャトロファ・クルカスを原料としたバイオディーゼルをインドの軽油に 20%混合させた性状を示す。対比のため使用されているのはパーム油由来のバイオディーゼルである。FAEE とあるのは、FAME がメタノールを使用したバイオディーゼルであるのに対してエタノールを使用したバイオディーゼルである (FAEE : Fatty Acid Ethyl Ester)。この性状は軽油に混合した後の性状であるが、パーム油よりも目詰点 (CFPP) が低いことが分かる。目詰点や硫黄分は日本の軽油企画との比較においては不十分であるが、80%を占める軽油性状が異なるため単純比較はできない。⁸

表 3 ジャトロファを利用したバイオディーゼル混合軽油の性状

性状	単位	インド軽油規格	ジャトロファ油 B20 (FAME)	パーム油 B20 (FAME)	パーム油 B20 (FAEE)	日本軽油規格参考
セタン指数 (下限)	—	46以上	50	50.3	52	45
潤滑性 (60°C、上限)	µm	460	260	260	250	-
引火点 (下限)	°C	35	70	70	71	(45)
粘度 (37.8)	mm ² /s	2.0~5.0	3.284	3.534	3.43	(1.7~2.7)@30°C
硫黄分 (上限)	ppm	500	235	270	235	10
目詰点 (CFPP、上限)	°C	18 (夏期) 6 (冬期)	-2	0	0	(-1~-19)

(出所) インド自動車工業会。日本規格における括弧内は品格法に該当項目がないため、JIS 規格を記載。

2. 各企業・国のジャトロファ・クルカス開発

2.1 主要企業の取り組み

(1) ダイムラー・クライスラー・アークー (DaimlerChrysler AG)

ダイムラー社は、2003年11月から5年間をかけて、インドの現地研究機関とジャトロファ・クルカスの農園から燃料としての実用化までの開発研究を進めた。インドでの5年間の

⁸ 表 3 とその解説文は、日本エネルギー経済研究所・新エネルギーグループの池田隆男氏が執筆したものである。

研究期間中、2つのジャトロファ・クルカス試験農園を開発し、初期の結果では、ヘクタール当たり約1トンのジャトロファ油が得られている⁹。同プロジェクトは比較的条件が良くない土地で実施されているもので、結果としては高く評価されている。

また、インド・グジャラート州の塩・海洋化学物質中央研究所（CSMCRI）とドイツのHohenheim大学と協力して、ジャトロファ・クルカスをベースとするバイオディーゼル燃料の燃焼実験を2004年4月に実施した。該当実験は、メルセデスベンツC220CD車種を利用し、5か月間の実運転の検証試験を全長5,900kmの走行距離で進められた¹⁰。結果としてバイオディーゼル燃料としてのジャトロファ油の品質は菜種と同等であると評価を発表した。

2008年1月9日、ダイムラー社は、米国系の食品加工大手であるアーチャー・ダニエルズ・ミッドランド（Archer Daniels Midland、ADM）とドイツ系の化学農薬品の最大手であるバイエルクロップサイエンス（Bayer CropScience）と手を組み、ジャトロファ・クルカスのバイオディーゼル燃料の開発を協力すると発表した¹¹。

(2) BP

石油大手BPは、ダイムラーのような独自の取り組みではなく、元々大豆油でバイオディーゼルを取り組んでいるD1オイルズ（D1 Oil）社と提携し、各自50%の出資でD1-BP Fuel Crops Limitedという合弁会社を設立した。2007年6月9日のBP社の発表によると、今後の5年間で約1億6,000万ドルを投資する計画が進められている。投資計画の形態は分かっていないが、2011年までに合計100万ヘクタールの新規ジャトロファ・クルカスプランテーションを開墾し、年間約200万トンのバイオディーゼルの生産するという¹²。

D1オイルズ社は、世界でも最も早くジャトロファ・クルカスのプランテーションを開拓した会社である。その活動範囲は、アフリカをはじめ、南米、東南アジア、インド、中国まで熱帯・亜熱帯の全域となっている。しかし、その活動はジャトロファ・クルカスの農園管理技術と生産性など不確実要素が多く抱えている中で、必ずしもスムーズには展開していない。東南アジア各国の情報によると、D1オイルズ社が発表されている開発面積の殆どが契約栽培形式で進められており、直接経営するプランテーションの面積は極少数である。インドネシアでは、スマトラ島の南部地域にプランテーションを開発しているが、農業用地を利用しており、現実的に既存の農作の作付けに影響を与えている。

(3) 中国石油大手各社

中国政府は、2003年から古い在庫のトウモロコシからのエタノールの生産に取り組んでおり、バイオ燃料の開発に積極的であった。しかし、国内の食糧安全保障問題が大きく取

⁹ DaimlerChrysler AG “360 Degrees – Magazine on Sustainability 2007” Page 31.

¹⁰ Daimler Chrysler “Innovations for our Customers, Annual Report 2004”, page 76-77.

¹¹ Thomson Reuters 2008,

<http://www.reuters.com/article/rbssConsumerGoodsAndRetailNews/idUSL0932139720080109>

¹² <http://www.bp.com/genericarticle.do?categoryId=1015&contentId=7034664>, BP ホームページの広報発表による。

り上げられ、中央政府は主要な穀物食糧における新規のバイオ燃料利用は、厳しい条例で制限した。そこで、非食料のジャトロファ・クルカスによる南部地域での大規模の開発に着手した。その担い手となるのは国営大手石油各社である。

中国石油天然ガス集団 (CNPC) では、中国国家林業局と協力して、雲南省と四川省の 2 省を中心にジャトロファ・クルカスのプランテーションを開墾している。現段階の計画では、作付面積は約 4 万ヘクタールにおよび、雲南省と四川省にそれぞれ年産 1 万トン規模のバイオディーゼル精製設備を設置する。

中国石油化工集団 (SINOPEC) は、国内の一部地域でバイオ燃料の取り組みを進めている一方、海外への進出戦略も進めている。投資の対象地であるインドネシアへの投資額が 50 億ドルと発表され、現地企業 P.T Puri Usaha Kencana 社と提携し、パプア州とカリマンタン島の複数箇所におけるバイオ燃料の原料作物 (パーム油とジャトロファ・クルカス) のプランテーションを開墾し、バイオ燃料精製工場を建設する計画である。

中国海洋石油集団 (CNOOC) は、国内では海南島をジャトロファ・クルカスの栽培基地として大規模な投資を進めている。一方、海外投資事業として、インドネシアの華人系財閥シナルマス・グループ (SINAMAS) と組んで、パーム油とキャッサバの原料開発を進める。CNOOC は、合計 55 億ドルの投資をこの事業に投入する。

(4) 各航空会社の取り組み

航空会社によるバイオ燃料への取り組み開始は、新たな参入者としてバイオ燃料市場を大いに沸かした。各大手航空会社は、相次ぎ航空機用バイオ燃料の開発計画を発表し、バイオ燃料市場が拡大する可能性が高くなった。

その中で、ニュージーランド航空はジャトロファ油を利用した飛行試験を 2008 年内に実施すると発表した¹³。2008 年 2 月に英国の大手航空会社ヴァージンアトランティック社は、ココナツ油ベースのジェット燃料を利用して飛行試験を成功したと報じられている。航空・宇宙機器大手のハネウェル・エアロスペース社は、エアバス社とジェットブルー社など数社と提携し、藻やジャトロファ・クルカスによる航空機用バイオ燃料を開発する。日本の JAL では、アジアで初めて非食物系バイオ燃料を用いた航空機用バイオ燃料のフライトをボーイング社、プラットアンドホイットニー社と組んで 2008 年度中に日本で実施する予定と報告されている¹⁴。実際使用する非食料の原料は発表されていない。

(5) 日本の企業

日本でも多くのジャトロファ・クルカスのプランテーション開発ベンチャーが活動している (例えば、日本植物燃料株式会社、株式会社アイエスコポレーション、日本バイオ・エネルギー開発株式会社など)。その企業数は、この数カ月で急速に増加しており、その多

¹³ <http://www.47news.jp/CN/200805/CN2008052801000824.html>、共同通信社、2008 年 5 月 28 日

¹⁴ <http://press.jal.co.jp/ja/release/200806/000953.html>

くは、東南アジアやアフリカ各地でのプランテーションの開発を進めている。各社の活動はホームページに記載されているので、ここでは詳細の紹介を省略する。何れも小規模なもので進められており、また研究開発の段階にある。

一方、日本国内では沖縄の株式会社アトラス、三田市の神戸熱帯農業研究所など数か所の栽培研究開発が進められている。地産地消の可能性はあるが、熱帯地域ほど生産性が期待できないため経済性が生まれにくい。

下流市場では、ジャトロファ油の利用について研究開発を進めている企業が数多く報告されている。その中、ヤンマーは2008年1月31日マレーシアのサバ州にバイオディーゼルの研究施設を設立し、パーム油をはじめ、非食油であるジャトロファ油などによるエンジンの耐久試験を行っている。

2.2 各国の栽培状況と活動

(1) インド

ジャトロファ・クルカスをバイオディーゼルとして使用する取組みはインドが最も早くに手がけている。2003年4月、インド政府が設立したバイオ燃料開発委員会は、インドの石油系の軽油消費量を20%削減する目標を発表した。この目標ではバイオディーゼルの原料作物として、食用に使用できないジャトロファ・クルカスの栽培を進めることである。

実際のジャトロファ・クルカスの栽培活動は、2003年11月頃からダイムラークライスラー社の支援による5年間の栽培計画、インド鉄道による沿線2,500kmにおける栽培計画などが進められた。2007年に入ってから食料との競合問題を追い風に外資系の企業による投資が活発し、イギリスのD1 Oil社、オーストラリアのMission Biofuels社等がインドに参入するなど取組みが増えてきた。

インドのバイオディーゼルの原料作物としては、7種類の非食用油が候補となっているが、荒地でも生育できるジャトロファ・クルカスが有望視されている。なお、インドにおけるバイオディーゼルの導入については現在のところは実証実験レベルであるが、今後は供給能力の増大に従って、導入地域を拡大し全国規模に普及する計画となっている。

インド政府が実施している「国家バイオディーゼルミッション」は、2段階に分けて進められている。フェーズ1では、2006～2007年まで導入のテスト事業を実施し、150億ルピー（約3.76億USD）を40万haのジャトロファ・クルカス農園開発に投資する。フェーズ2は、2007年から自主開発プログラムを促進し、確認されている未利用土地4,313万haを中心に、2012年度までにディーゼル消費量の削減目標値20%の達成に必要な生産能力を持続的に拡大する。しかし、ジャトロファ・クルカスの栽培計画が進められているものの、実際の油の生産性が期待通りよりも遥かに低いため、栽培面積が広がらなかった。インド政府が掲げた「国家バイオディーゼルミッション」の推進は、原料調達の見通しが付かない事態に陥っており、今後の打開策を模索している。

(2) 中国

中国政府は、現在バイオディーゼルの導入を法制化するための取組みが始まり、供給、品質、販売まで市場整備が進められている。中国におけるバイオ燃料の導入は初期には主にバイオエタノールが中心であったが、2007 年からバイオディーゼルの導入が本格的に進められている。現在、福建省では廃食油を利用したバイオディーゼルの生産が数万トン規模で進められている。2007 年 11 月には 100%のバイオディーゼル (B100) の基準が発表され、B20 の燃料基準が検討されている。また、バイオディーゼルの原料作物として開発される土地は食糧を生産するための農地を利用してはいけないという行政規定を明文化している。

バイオディーゼルの原料作物として、ジャトロファ・クルカス¹⁵が栽培に適している南部の四川省、雲南省、貴州省、広西自治区、広東省、海南省において大規模な栽培計画が進められている。中国のジャトロファ・クルカスの栽培開発で最も特徴的なのは、国営 3 大石油会社が主導で進められている点である。中国天然ガス石油集団 (CNPC) は四川省、雲南省、貴州省を中心に、中国石化集団 (SINOPEC) は広西自治区、広東省で、中国海洋石油は海南省で、と 3 社それぞれの優先的に権限を与えられた地域において開発、資本導入を進めている。

(3) インドネシア

インドネシアでは国内雇用の拡大を目的として 2006 年に「ブループリント (未来構想) : 2006~2025 年までの貧困と失業の緊急対策としてバイオ燃料開発」¹⁶を発表した。この中で、ジャトロファ・クルカスについては、2010 年には年間 50 万人を雇用して 150 万 ha の耕地で 750 万トンのジャトロファ・クルカス油 (CJO) を生産、2015 年には年間 100 万人を雇用して 300 万 ha の耕地で 1,500 万トンの CJO の生産を行う計画を打ち出している。この他に関連産業である輸送・運搬、商業、情報・通信、流通など、様々な開発政策が明文化された。

インドネシアでは、第二次世界大戦当時に日本軍がジャトロファ・クルカスの生産を図った。当時は、戦時に必要な化石燃料の調達が困難であるため、日本軍はジャトロファ・クルカスを油糧作物としてインドネシア各地で栽培させた¹⁷。

インドネシア国内でのジャトロファ・クルカスの伝来そのものはさらに大航海時代に遡ることとされ、オランダ人並びにポルトガル人の入植時に栽培されたという言い伝えが残っている。インドネシアの住民に麻酔や皮膚病治療の民間薬として利用されている。現在自生化しているジャトロファは種類が多く、島によっても大きく異なっている。

¹⁵ 中国では、ジャトロファ・クルカスのことを「麻瘋樹」、「小桐子」などの名前で呼ばれている。

¹⁶ 「BLUE PRINT PENGEMBANGAN BAHAN BAKAR NABATI UNTUK PERCEPATAN PENGURANGAN KEMISKINAN DAN PENGANGGURAN」

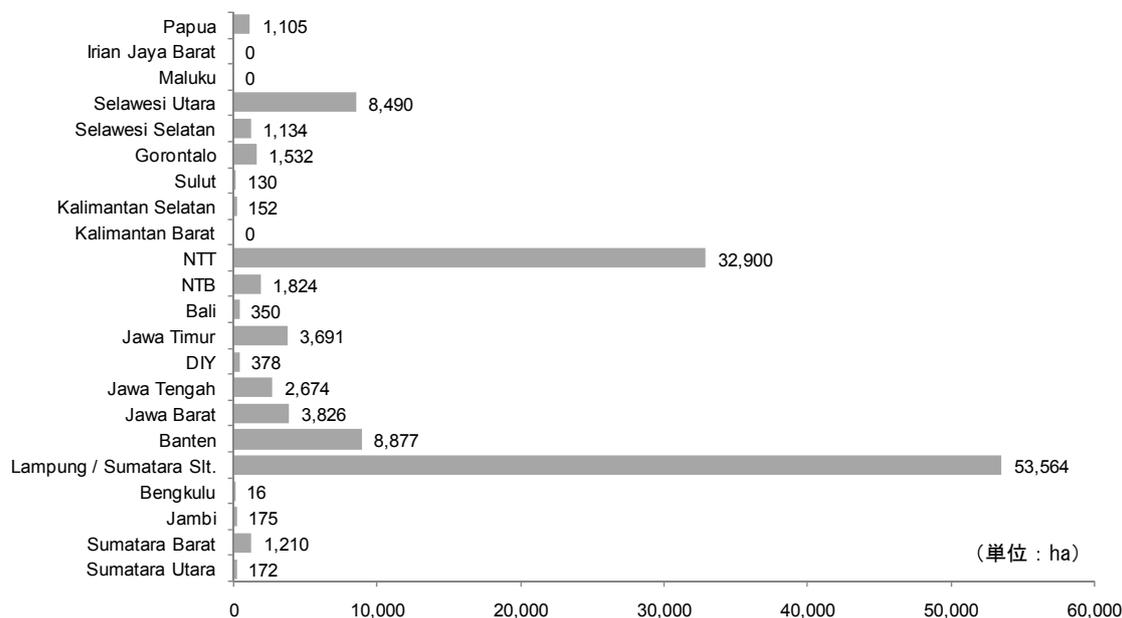
¹⁷ 当時の日本軍のジャトロファ利用に関する逸話は中学高の教科書に載っていることが有名であるが、具体的な資料はまた確認できていない。

インドネシア名のジャトロファ・クルカスも地域によって異なっている。ジャラック (Jarak) またはジャラック・パガール (Jarak Pagar¹⁸) と呼ばれることが多いが、各島、各民族によってそれぞれの呼び名を持っている。ジャトロファ・クルカスは、一般的には農村地域の農家の自宅フェンスとして植えられており、その種子から搾油して、薬や照明、炊事の原料として使用される。

バイオディーゼルとしてのジャトロファ・クルカスの栽培は、P.T. Agrila 社という会社によりロンボック島で2003年に開始されたようである。同社は同年に実施された実験のためのCJOを提供するための栽培をはじめたところインドネシア国内で注目されるようになり、2006年の石油価格の高騰によって、この島に栽培ブームが起こった。これを背景にロンボック島を始め、ジャワ島、スラウェシ島とインドネシア全島に栽培ブームが拡大している。

インドネシア政府の発表によると、2007年12月末に全国においてすでに9.4万haの栽培面積が達成されている。しかし、実際にはこの発表による栽培面積の正確さが疑われておりCJOの生産が行われていない例も多い。インドネシアではジャトロファ栽培の現状はこれよりも遙かに栽培面積が少ないと考えられている。

図3 インドネシアにおけるジャトロファ・クルカスの栽培面積 (2007年12月末)



(出所) インドネシア国家バイオ燃料チーム、2008年2月

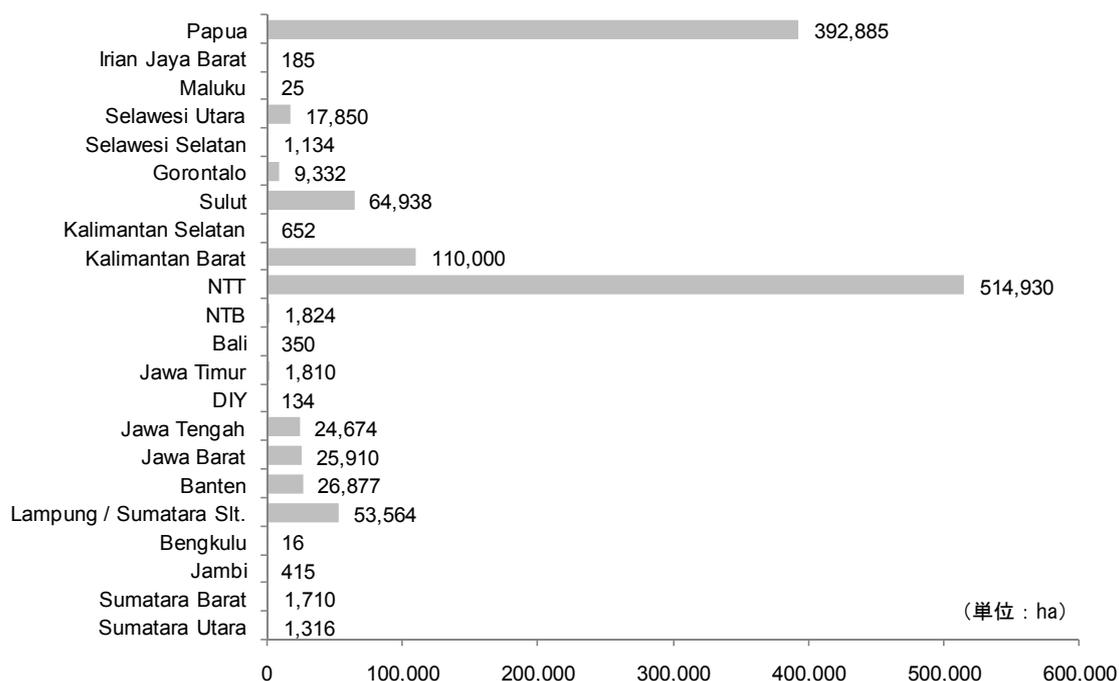
一方、インドネシア政府は野心的な目標値を設定している。国家バイオ燃料チームの発表によると、2015年までに1,500万haを発表し、各州の実施状況に応じてそれぞれの裁

¹⁸ Pagar の意味はフェンスであることから名付けられている。

培面積を決めている。州別を見ていくと、NTT 州とパプア州の栽培面積目標が最も高い。両州はそれぞれ 51.5 万 ha（41%）と 39.3 万 ha（31%）に設定されており、全体の 72% を占めている。その他では、カリマンタン島、スマトラ島が栽培の開発中心となっている。

現在、農業省は各地域におけるベース農園を開発し、ベース農園を中心に栽培指導、良い品種の種子提供など栽培面積の拡大に努めている。

図 4 州別におけるジャトロファ・クルカスの栽培面積の目標値



(出所) インドネシア国家バイオ燃料チーム、2008 年 2 月

(4) ミャンマー

ミャンマーでは国際社会から制裁を受けており、経済的にも国際石油市場から石油や他化石燃料の調達が困難であるため、軍政府は国内における燃料自主開発を進めている。特に、バイオディーゼルの原料作物であるジャトロファ・クルカスの開発に力を入れている。現在の栽培目標は、2010 年までに 283 万 ha の栽培面積を開発することになっている。

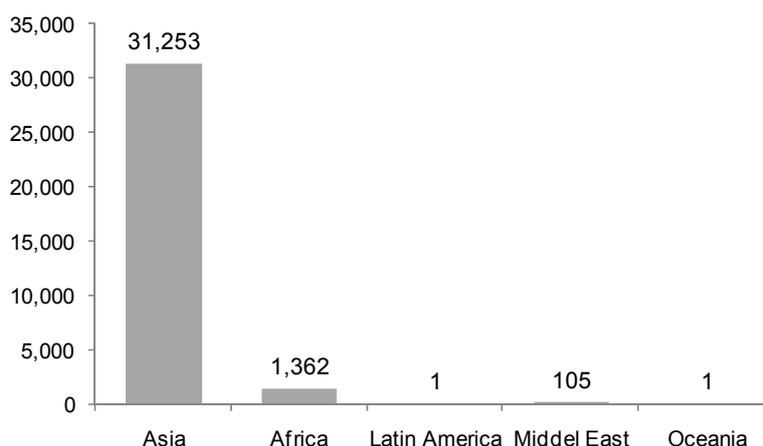
軍部が農民に従来の農作物からジャトロファ・クルカスへの転作を強制的に進めているとの情報もある一方で、ジャトロファ・クルカスの製品 CJO の利用技術が普及していないため、国内需要が広げにくいとの見方もある。国際市場への輸出が進められている情報もあるが、ミャンマー国内では慢性的に石油系の燃料が不足しているため、その可能性も低いと考えられる。但し、CJO は政府による強制統制価格で販売できるため、今後の導入が進む可能性もある。現在、ミャンマーの状況は生産規模がわかっていないが、CJO を利用するための技術が未成熟である可能性が高いと考えられる。

2.3 各国のジャトロファ・クルカスの供給ポテンシャル

国際ジャトロファ協会 (International Jatropha Organization) は、今後 10 年間に世界各地の栽培計画や予測を含めた数値を公表した。この予測によると 2017 年のジャトロファ・クルカスの栽培面積は世界で 3,272 万 ha とされ、1.6 億トンの種子が生産されるとしている。その内、95.5%の生産量 (1.56 億トン) がアジア地域に集中していることが特徴的である。同協会の予測によると、アジア地域において今後 10 年間に 3,125 万 ha の土地がジャトロファ・クルカスとして開発される。特にインド、中国とインドネシアはジャトロファ・クルカスの開発ポテンシャルが高い。しかし、推計結果は主に各国政府が発表した未利用土地の面積に対してジャトロファ・クルカスを栽培した場合のポテンシャルを示しているだけで、実際の栽培計画を特定したわけではない。その内、インドネシア、インドとミャンマー政府は明確な栽培目標を設定しており、国のエネルギー政策として促進していく対策を取っている。

図 5 2017 年における世界各地のジャトロファ・クルカス栽培面積の予測

(単位 : 1,000 ha)



(出所) International Jatropha Organization により作成。

国際ジャトロファ協会の予測では、アジア地域において中国、インド、インドネシアとミャンマーの栽培計画が目立っている。特にインド、インドネシア及びミャンマーにおいては中央政府のエネルギー政策の中で明確な栽培面積拡大を目指す政策が実施されており、国産燃料の開発の傍ら農村開発、貧困対策など発展途上国が抱えている社会問題を解決するきっかけとして高く期待されている。

中国では、2017 年までに 1,270 万 ha のジャトロファ・クルカスの栽培面積が拡大され、インドでは 1,100 万 ha、インドネシアでは 450 万 ha、ミャンマーでは 283 万 ha となっている。その他タイ、マレーシア、フィリピン、カンボジア、ベトナムでの栽培面積は少ないものとなっているが、実際には各国政府とも既に導入の検討を開始しており、近い将来

にジャトロファ・クルカスの栽培計画案が発表されると思われる。アジア地域におけるジャトロファ・クルカスの栽培面積は、今後も拡大し続けていくと考えられている。

一方、ヘクタール当たり種子の生産量が5トンであることと栽培面積に基づいて収穫量を計算すると、図6の結果が得られる。つまり、アジア各国のジャトロファ・クルカス油(CJO)の年間生産量は、高い順に中国(1,905万トン)、インド(1,650万トン)、インドネシア(675万トン)、ミャンマー(425万トン)となる。

図6 アジア主要国におけるジャトロファ・クルカスの栽培面積予測(2017年)

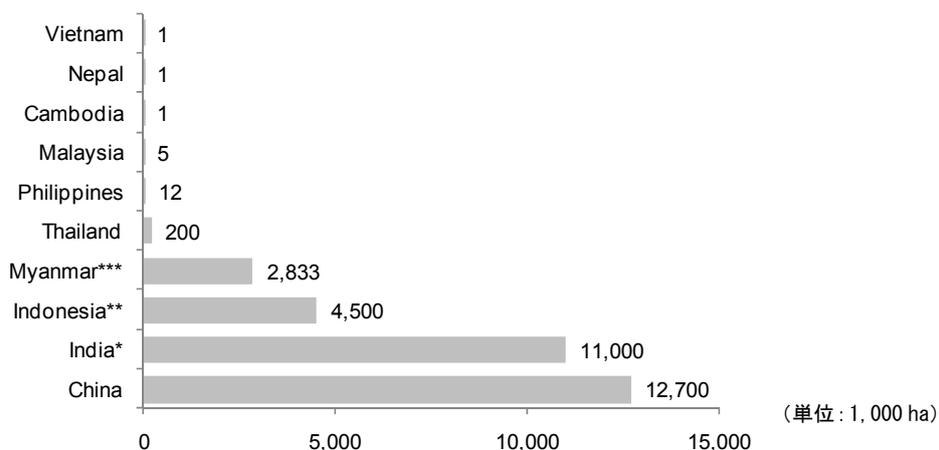
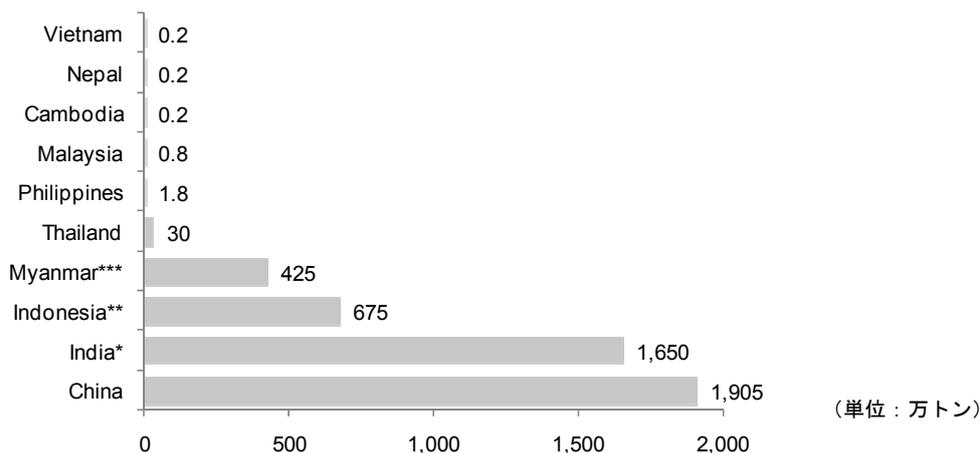


図7 アジア主要国におけるジャトロファ・クルカス油(CJO)の生産予測(2017年)



(注) 図5と図6は国際ジャトロファ協会が発表したジャトロファ・クルカスの栽培面積と種子の生産予測により作成した。その内、インド、インドネシアとミャンマーは、実際各国政府が発表した栽培導入計画を記載し、筆者により生産予測を推計した。

* National Program on Jatropha, April, 2003, インド

** Blue Print of biofuel, 2007, インドネシア

*** National Jatropha Programme, ミャンマー

(出所) International Jatropha Organization、筆者推計により作成。

3. バイオ燃料としてジャトロファ・クルカス開発の問題点

3.1 生産性問題

ジャトロファ・クルカスの事業化においては、生産性が最も論議を呼んでいる。ジャトロファ・クルカスの植物としての生産性曲線は、現時点ではよく分かっておらず、生産ピークに到達している実際データが明確になっていない。現在一般に広まっている情報の中で1ヘクタール当たりの生産性は、種子ベースで3~15トンまで、その開きは実に5倍ほど離れている。勿論、栽培地域、気候、土質、管理など諸条件によって生産性が変化することは承知しているが、少なくとも農作物としての生産性曲線データが確立していないことを指摘したい。

一体どれが真実の生産性データであるか、実際の実証データが乏しい。最もはっきりしているのは、現存の商業農園としての中で栽培年数が5年以上になったものは少なくともアジア地域では殆ど存在していないことである。非食用バイオ燃料原料作物への市場の過剰期待のため、初期のジャトロファ・クルカス研究開発の段階で歪められた情報が広く流れるようになった。この点に関しては、投資計画を立てる際、直接的にキャッシュフローに影響を与えるため、慎重に検討する必要がある。

表4は、各研究機関が発表した生産性データを示す。ボゴール農科大学のデータは、実際の研究農園で栽培し、その収穫量をデータとして採集しているため、実データとして参考価値が最も高い。しかし、同農園はまだ2年間のデータしか集めておらず、今後の生産性を継続的に観察する必要がある。ダイムラー社では、インドでの5年間の研究結果として油ベースで発表されていたが、実際の生産曲線がわかっていない。インドネシア農業省が発表した結果は、実績データではないためその根拠が分かっておらず、信憑性が欠けている。

表4 各機関・企業の発表した生産性データ

	年数	ボゴール農科大学①		インドネシア農業省②			Daimler Chrysler
		INDOCEMENT 研究農園	Caiwi研究農園 (2Ha)	IP-1	IP-2	IP-3	インドの研究農園
		石灰岩の 鉱区跡地	農業用地	不明	不明	不明	痩せている土地
種(kg)	第1年目	200	600~800	1,100~1,500	2,000~2,500	-	
	第2年目	±500	±1,700	-	-	-	
	第3年目	-	-	-	-	-	
	第4年目	-	-	-	-	-	
	第5年目	-	-	4,500~5,000	6,000~7,000	8,000~10,000	
油(kg)	第5年目で30%の搾油率で想定した場合			1,350~1,500	1,800~2,100	2,400~3,000	1,000

(出所) ①ボゴール農科大学・SBRC (Surfactant and Bioenergy Research Center) のヒアリングにより作成。

②Indonesian Center for Estate Crops Research and Development Ministry of Agriculture (2007)、インドネシア農業省の発表データによる作成したが、殆ど実証されておらず、推計データであると思われる。

(注) IP-1, IP-2, IP-3 はジャトロファ・クルカスの品種名である。

3.2 生産コストと価格問題

(1) 生産コスト

マレーシアパーム油理事会（MPOB）が発表したマレーシアにおけるパーム油の粗油の生産コストと、インドネシアボゴール農科大学の Erliza Hambai 教授が発表したジャトロファ・クルカスの粗油の生産コストを表 5 に示す。パーム油の粗油の生産コストはトン当たり 290 ドルに対して、ジャトロファ・クルカスの粗油はやや安く、トン当たり 231 ドルとなっている。粗油の平均生産コストは大きく変わらず、両者の違いは生産期における経営コストである。パーム油の生産期の管理コストはジャトロファ・クルカスの約 4 倍、ヘクタール当たり年間 1,014 ドルとなっているのに対し、ジャトロファ・クルカスでは 250 ドルに過ぎない。しかし、生産性においてパーム油のヘクタール当たりの生産量はジャトロファより圧倒的に高い結果となっている。

表 5 ジャトロファ・クルカスとパーム油の生産コスト比較

ファクター	ジャトロファ・クルカス		パーム油	
1. 生産前コスト(USD/年)				
- ヘクタール当たり平均	980.94	USD/ヘクタール	817.49	USD/ヘクタール
- 年平均*	39.24	USD/年	32.70	USD/年
- 単位収穫量平均**	7.85	USD/トン/種	1.82	USD/トン/FFB
2. 生産期コスト (USD/年)				
- ヘクタール当たり平均	249.92	USD/ヘクタール/年	1,014.27	USD/ヘクタール/年
- 単位収穫量平均	49.98	USD/トン/種	56.35	USD/トン/FFB
- 必要な労働者力	199.93	USD/トン/粗油	281.74	USD/トン/粗油
	105	人/日	41	人/日
3. 合計コスト (USD/年)				
- ヘクタール当たり平均	289.16	USD/ヘクタール/年	1,046.97	USD/ヘクタール/年
- 単位収穫量平均	57.83	USD/トン/種	58.16	USD/トン/FFB
	231.32	USD/トン/粗油	290.82	USD/トン/粗油

(注) * 二つ農作物の経済性のある生産期間を 25 年間に設定する。

** ジャトロファ・クルカスは年間平均 5 トン/ヘクタール/種、パーム油は年間平均 18 トン/ヘクタール/FFB を基づいて計算する。粗油の生産量に関して、ジャトロファ・クルカスの含油率は 25%、パーム油の含油率は 20% で計算した。

(出所) パーム油の生産コストはマレーシアのパーム油理事会（MPOB）が公表したデータを利用し、ジャトロファ・クルカスはボゴール農科大学のエリザ教授が積算した生産コストを利用した。

(2) 価格問題

価格面においては、2008年9月時点でインドネシアにおけるジャトロファ・クルカス種子の価格は 2,500～3,500Rp/kg（約 29～41 円¹⁹/kg）程度で取引されている。搾油率を 25%にした場合、1 リットルの CJO を精製するには 4kg の種子が必要である。つまり、約 117.6 円～164.7 円/L となる。ジャトロファ・クルカスの種子の市場が形成されていないため、価格の変動が非常に激しいため、ジャトロファ・クルカスの油を化石燃料に単純比

¹⁹ 為替レート：1 円=85 ルピア

較することが困難である。

実際のジャトロファ・クルカス種子の価格について、インドネシアでは現在市場で取引されている種子の量はかなり少ない。現段階では各地で栽培が拡大しているため、栽培に用いるための種子の需要が高くなっており、油の生産用に種子が回らなくなっている。この現象は栽培面積の拡大速度が落ち着くまで続く（1～2年）可能性が高く、市販されるジャトロファ油（CJO）も当分現れないと考えられる。苗用の種子の値段は跳ね上がっており、インドネシアではおよそ 1,500～5,000Rp/kg となっている。他の搾油費用が約 400Rp/kg、輸送費用が約 100Rp/kg（距離による）などの諸費用を含めると、価格はさらに高くなる。

3.3 栽培・管理技術の確保

ジャトロファ・クルカスについては収量増加や収穫方法等の課題解決に向けた取組みが続けられており、自動車用バイオ燃料の原料としては現時点では依然リスクが高い状態である。しかし、荒地で栽培が可能であり、食料生産と競合しないということが強調される中、バイオディーゼル原料としては大変魅力的であり、起業家及び既存大企業（農園、石油、自動車）の新規事業として、また政府機関による研究事業として課題解決が図られている。

現在の最大の課題は、ジャトロファ・クルカスの生産性を引き上げることである。各国の専門研究チームの研究結果からジャトロファ・クルカスの種子の生産能力は少なく 5 トン/ha に達することが期待されている。しかし、ジャトロファ・クルカスの果実が小粒であり、果実ごとに収穫時期が分散しているために、プランテーションとしての栽培には収穫が難点となっている。現地点の小規模栽培では農村の生活燃料としての利用が可能であるが、分散している種を回収する体制が確立していないため、量産が困難となっている。プランテーション作物としてジャトロファ・クルカスの管理技術が確立できるかどうかは今後のジャトロファ・クルカスの産業としての運命を決めることになる。他方、人手をかけて収穫するという点においては労働力が必要となるので、発展途上国においては雇用拡大の手段として栽培が計画されている。

3.4 各油糧作物との競合関係

ジャトロファ・クルカスは非食用油として紹介され、食料生産に悪影響を与えない点が強調されており、他の油糧作物との競合関係にないと理解されている。実際、ジャトロファ・クルカスの種子は毒性を持っており、薬と生活用燃料として用いられている。ただ、ジャトロファ・クルカスの種からの搾油後残渣が高タンパク質であるため、利用価値が高くなる可能性がある。しかし、その毒性についての研究がまだ進んでいないため、搾油残渣の利用は燃料か肥料に限られている。なお、メキシコでは遺伝子組み換え技術で作った毒性を持たないジャトロファ・クルカスの開発が進められている。

また、本来ジャトロファ・クルカスは荒地や水などの管理条件が厳しくないことが知られている。しかし、商業ベースに乗せて量産をするためには水や肥料も重要となるので、多くの投資企業はより良い条件の農作地を利用しプランテーションの展開を進めている。その場合、ジャトロファ・クルカスの生産地が拡大すれば、最終的には既存の農作物からの転作が進むことになり、食料との競合は避けられないと考えられる。

3.5 有毒成分の議論

ジャトロファ・クルカスは、樹木の全体において有毒成分が含まれている。各地域では、家畜の牛、羊、馬などが庭に入って来られないように垣根として庭周辺に栽培している。また、東南アジア地域では原住民の間で古くから伝統な薬草として活用していることも確認されており、伝統の河川漁法の中で、魚毒植物として樹液を利用している。

既存の研究結果の中からファイトトキシン (Phytotoxin) 植物の有毒成分としてクルシン (Curcin) と呼ばれる Toxalbumin が主に種子、果実や樹液などから確認されている。クルシン (Curcin) の多くは種子の中のプロテイン (蛋白質) の中に含まれている。クルシン (Curcin) の毒性はヒマ (Ricinus communis) からのリシン (Ricin) よりも弱く²⁰、脂溶性ではないためジャトロファ油の中には存在せず、種や搾り粕 (Seed Cake) の中に含まれている。

もう一つ危惧されているのは、発癌性物質であるホルボールエステル (Phorbol Esters) である。ジャトロファ・クルカスに含まれているホルボールエステルについて、十分に研究が進んでおらず、またどんな様な影響をもたらすのか未だに分かっておらず、更なる検証が求められる。

ジャトロファ・クルカスは、食用油ではないため、人間が摂取する可能性は低い。しかし、種という形で誤って種を食べてしまったケースが多く報告されており、その殆どは子供である。

表 6 ジャトロファ・クルカスに含まれる有毒成分

成分	単位	数値 (%)	
		種	搾り粕*
Trypsin inhibitor activity	mg trypsin inhibited/g	18.4 - 27.5	21.1 - 26.5
Saponin (As diosgenin)	%	1.8 - 3.4	2.0 - 3.4
Phytate (As phytic acid equivalent)	%	6.2 - 10.1	8.9 - 10.1
Lecithin activity (Curcin)		0.85 - 6.85 mg/g sample	51 - 102 mg meal/ml assay
Phorbol esters	mg/g kernel	0.87 - 3.32	0.11 - 2.70

(出所) Wink et al(1997) in Gubitz et al(1997)*、 Makkar and Becker (1997) in Gubitz et al(1997)

²⁰ “東南アジアにおける魚毒植物とその有効成分”、河津一儀、Page169

4. まとめ

ジャトロファ・クルカスは、油糧作物として非常にポテンシャルが高いことが認められている。現在、各国において栽培技術、品種改良、管理技術、生産技術など多くの研究が商業生産に向けて進められている。しかし、上記の詳述したように種子の生産性曲線が不明であり、収量や栽培適地などの情報が不正確なまま栽培が行われている事例も多い。また、ジャトロファ・クルカス油の性状、加工技術、毒性分解などの下流利用技術が未だに確立していないため、性急な投資活動は結果としてジャトロファ・クルカス産業の着実な拡大の障害となる。

今、最も重要な課題として、まず上流生産に関する正確な情報と品種改良、栽培技術の確保が求められている。農作物はそれぞれの特徴を持っており、広大なプランテーション形式になれる農作物（パーム油、ゴム、茶、大豆、トウモロコシ、サトウキビなど）と小規模農園として経営する農作物（胡椒、コーヒー、カカオ、果樹など）に分かれる。ジャトロファ・クルカスは、巨大プランテーションとして開発するには、現段階のノウハウではほぼ不可能であると考えられている。ジャトロファ・クルカスをプランテーション化するには、小規模の栽培から取り組み、段階的に規模を上げながらその管理技術を確認する必要がある、長期的な取り組みが求められる。

パーム油の開発過程はもっとも良い参考材料である。初期のパーム油開発は、現在の生産性と栽培規模より遥かに小さく、投資対象としてあまり魅力がなかった時代があった。パーム油が現在の規模に達したのは実に半世紀の研究開発が進められた成果である。農作物として新規の油糧作物ジャトロファ・クルカスは、まだ初期の開発段階にあり、燃料市場の主要な原料として普及するにはもう少し長い実証期間が必要であろう。

参考文献

- (1) IK Notes, "Using the Indigenous Knowledge of Jatropha", -The use of Jatropha Curcas oil as raw material and fuel-, No. 47 August 2002.
- (2) "Claims and Facts on Jatropha Curcas L.", Plant Research International, R.E.E. Jongschaap, W.J. Corre, P.S. Bindraban & W.A. Brandenburg, October 2007.
- (3) "Meraup Untung dari Jarak Pagar", Rama Prihandana, Erliza Hambali, Siti Mujdalipah, Roy Hendroko, 2007.
- (4) "Jarak Pagar -Tanaman Penghasil Biodiesel", Seri Agribisnis, Penebar Swadaya, 2006.
- (5) "Petunjuk Budi Daya Jarak Pagar", Rama Prihandana & Roy Hendroko, 2006.
- (6) "Memproduksi Biodiesel Jarak Pagar", Prof. Dr. H. R. Sudradjat, M.Sc., Seri Agritekno, 2006.
- (7) "Biodiesel and Jatropha Cultivation", Satish Lele, February 2007.

お問い合わせ：report@tky.ieej.or.jp