

# ナンヨウアブラギリ (*Jatropha curcas*) の特徴と インドネシア・露天掘り炭鉱への活用

吉田貴紘・鈴木秀典・藤間 剛・山本幸一

## 1. はじめに

インドネシアは年間 1 億 3,000 万トンの石炭を産出し、その大部分を露天掘り方式により生産している。石炭採掘企業には採炭跡地の埋め戻しと再緑化が義務づけられ、再緑化樹種としてアカシアマンギウム等の早生樹が主に植栽されている。しかし、埋め戻し跡地の土壤は物理的、化学的に劣化したものであり、植栽木の成長はそれほど高くない。また再緑化した森林の利用についてはほとんど検討されておらず、植栽後に適切な管理がなされず放棄される植栽地もある。このようなことから、露天掘り跡地の再緑化に当たっては、貧栄養の土壤でも成育できる樹種を植栽すること、植栽木からの収入により再緑化地を持続的に管理する事が必要である。

ナンヨウアブラギリは、養分の貧しい土地でも生育でき、種子を圧搾して得られる種子油がディーゼル燃料として利用できるため、近年「油のなる木」として有望視されている。インドネシアでは石油の供給逼迫を背景に、2006 年 1 月にバイオ燃料利用推進の大統領令がだされ、人民福祉省は 2010 年までに 1,000 万 ha の荒廃地にナンヨウアブラギリを植栽するという計画を打ち出した。しかし、この大規模植栽計画により将来生産される種子油の利用については、具体的な計画は示されていない。

筆者らは今回、東カリマンタンの露天掘り炭鉱を訪問し、露天掘り跡地の再植林の現状ならびにナンヨウアブラギリ植栽試験・収穫油利用計画に関する情

---

Takahiro Yoshida, Hidenori Suzuki, Takeshi Toma and Koichi Yamamoto :  
Characteristics of *Jatropha curcas* and its Planting Trial at the Land after Coal  
Mining in Indonesia

(独)森林総合研究所加工技術研究領域、林業工学研究領域、国際連携推進拠点、研究  
コーディネータ

報収集を行った。またこれに先だって、インドネシアの研究機関にてナンヨウアブラギリ利用に関する情報収集を行った。本稿ではまずナンヨウアブラギリの特徴、つぎに収穫油のバイオディーゼル燃料（BDF）利用、最後に炭鉱における植栽実験・収穫油の利用計画について紹介する。

## 2. ナンヨウアブラギリの特徴

ナンヨウアブラギリ (*Jatropha curcas*) は、熱帯アメリカ原産のトウダイグサ科の乾季に落葉する小高木で、英語名で Physic nut, インドネシア語名で Jarak と呼ばれる。世界の熱帯または亜熱帯地域に栽培あるいは半野生状態で広く分布する。樹高は 2~5 m, 樹皮は緑または灰色で円滑、葉は互生し広卵形、基部が心形で、3~5 に浅裂する<sup>1)</sup>。実、樹皮、葉に毒素を含むため、農園や民家の生け垣として植栽されている。この植物は広い降水量範囲に適応するが（たとえば文献 2, 3 では 300~2,380 mm）、水はけの良い土壤を好み水分飽和土では成長しない。乾燥に強いことも知られており、乾燥が長く続く時には、殆どの葉を落とすことで乾燥に対応している<sup>2,4)</sup>。共生菌根によりリン酸塩の吸収を容易にし<sup>2,3)</sup>、貧栄養の土壤条件でも成育可能である。

種まきは通常雨期の直前か初期に行う。結実回数は年間の雨期の回数と関係があるといわれているが、灌漑すれば年 3 回収穫可能と言われている<sup>4)</sup>。結実は発芽後約半年でみられるようになり、約 5 年で最大収量に達し、その後約 25 年間最大収量が持続する<sup>5)</sup>。果実は、緑色から黄色、黒色と変化し、利用目的に応じて収穫時期が異なる。育苗目的の種子生産は黄色のときに、搾油目的のものは黒色のときに収穫する<sup>5)</sup>。種子収量は気候や土壤条件により変動するもの

の、4~8 トン/ha 程度とされている<sup>5)</sup>。ナンヨウアブラギリの種子を写真 1 に示す。種子の大きさは平均的なもので 15~20 mm、重さは 0.8 g 前後で、圧搾により油（クルカス油、フィジックナット油とも呼ばれる）を収穫でき、収率は種子基準で 30~50% 程度である<sup>5,6)</sup>。油、実、樹皮、葉にホルボルエステル系の毒素を含むため、食用には適さない反面、虫や草食



写真 1 ナンヨウアブラギリの種子



写真 2 苗畑（左）および試験植栽地におけるナンヨウアブラギリ（右、6ヶ月生）

動物による食害を受けにくい特徴をもつ。

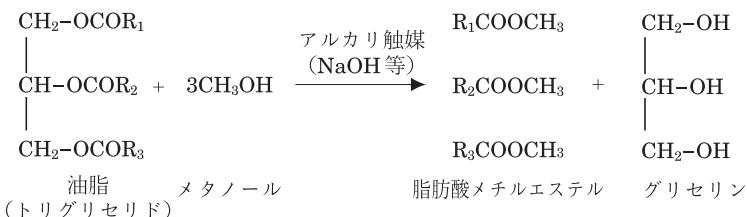
育苗は種子及び挿し木で行われる。インドネシア科学技術応用庁 (BPPT) エネルギー技術開発センターにおける苗畑および試験植栽地のナンヨウアブラギリを写真 2 に示す。ここでは植栽試験および収穫油のバイオディーゼル燃料製造試験（後述）を行っている。ここでの育苗期間は 3 ヶ月で、苗木は 1 ヶ月で 20 cm, 3 ヶ月で 30 cm 程度までに成長する。育苗コストは一株あたり 800 Rp (約 10 円) 程度かかっている。苗木の生存率は種子から苗木までで 80%, 苗木から成木までで 90% 程度である。枝払い方法は、地表から 20~30 cm の部分および生長梢端から 50 cm の部分に対して行うとされている<sup>5)</sup>。

### 3. 収穫油のバイオディーゼル燃料 (BDF) 利用

ナンヨウアブラギリ油は毒素を含むことから生け垣として植栽されるほか、様々な利用方法がある。油は 19 世紀半ばまで街路灯油として重用されたとともに、石鹼用、塗料、潤滑油、吐剤や下剤として使用されてきた<sup>7)</sup>。アフリカ諸国ではナンヨウアブラギリの多目的利用を行うことで、女性の職業創出、生活環境改善を図ろうとしている<sup>4)</sup>。また最近では BDF として注目され、ブラジル、タイ、インドなどで植栽が進められている。インドネシアでは人民福祉省が 1,000 万 ha の植栽および日産 10 万トンの BDF 生産計画を進めている<sup>6)</sup>。

ナンヨウアブラギリ油からの BDF はパーム油、大豆油、菜種油からの BDF とは異なり、有毒なために食料と競合しない BDF であり、価格安定性も期待できる。BDF として利用するにはエステル交換等の改質反応を必要とする。そ

◆エステル交換反応



◆遊離脂肪酸からのセッケンの生成

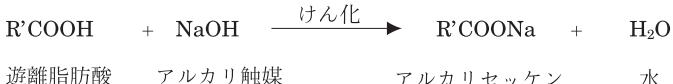


図 1 アルカリ触媒法による油脂の化学反応

表 1 ナンヨウアブラギリ油物性値と BDF 規格値（軽油相当）との比較

油の種類	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	引火点 (°C)	動粘度 (mm <sup>2</sup> /s)	セタン価	燃焼熱 (MJ/kg)	硫酸塩 灰分 (ppm)
ナンヨウアブラギリ油 <sup>1)</sup>	0.92	340	75.7	51	39.6	
ナンヨウアブラギリ油 <sup>2)</sup> (エステル交換反応後)	0.88	191	4.84	51	37-38	< 50
BDF 規格値 <sup>3)</sup>	0.875-0.890	>110	3.5-5	>49		<300

<sup>1)</sup>参考文献 2, 3 より, <sup>2)</sup>参考文献 5 より, <sup>3)</sup>ドイツ BDF 品質規格 (E DIN 51606 Standard)

うした中、ナンヨウアブラギリ油を直接燃料利用した例として NEDO によるバンドン工科大学における実験報告がある<sup>8)</sup>。搾油したものをそのままディーゼルエンジン燃料として利用した結果、軽油使用時と同等の出力を示したものの、始動時間の遅れや、予想以上の燃焼室の汚れ、部品の発錆が確認された<sup>8)</sup>。これはナンヨウアブラギリ油の高粘性や不純物の含有のためであり、BDF として品質安定的に利用するには改質や精製を行う必要がある。

改質は一般に 50~90°C でアルカリ触媒下エステル交換反応により行われる。図 1 上段にエステル交換反応式を示す。油脂 1 モルに対して 3 モルのメタノールと反応して 3 モルの脂肪酸メチルエステル (BDF) と 1 モルのグリセリンが生じる。表 1 にナンヨウアブラギリ油 (改質前後) の物性値と BDF 規格値との比較を示す。なお BDF 規格値は軽油の規格値相当である改質前では、規格値に比べて引火点と粘度が 1 衡違っているが、改質後は規格値を満たすことがわ

かる。写真3にBPPTで実証試験中のBDF生産プラントを示す。

ここでは1トン/dayのBDF製造を行っており、ナンヨウアブラガリ油のほか、パーム油、ひまし油等からの製造も行っている。製造コストは原料費を除いて1,000Rp/Lであるが、スケールアップ(スマトラ島リアウ州に10トン/dayの実証プラントがほぼ完成)により600Rp/Lを目指している。さらにここで製造したBDF

はSolarmax Biodiesel(インドネシア語でディーゼル燃料のことをSolarという)として試験販売されている。

改質反応にはいくつか問題点がある。例えば油中に存在する水分や遊離脂肪酸は反応を阻害(触媒機能の低下、セッケンを形成(図1下段))するために脱酸・脱水工程を必要とする。また反応に必要なメタノールは、現状では化石資源由来(天然ガスの改質物)物であるので、将来的には再生産可能なバイオマスからの製造が求められる。バイオマスからのメタノール製造法にはガス化方法や超臨界水法などがあるが<sup>9)</sup>、前者に関して森林総合研究所では畜産草地研究所らと共同でメタノール製造プラントの開発、実証試験を行い、良好な運転成績を残している<sup>10)</sup>。こうした装置の導入により熱帯僻地での持続的なBDF利用が図れると考えている。

#### 4. 露天掘り炭鉱における植栽実験・収穫油の利用計画

インドネシアの露天掘り炭鉱では、石炭採掘後表土を埋め戻して再緑化することが義務づけられている。インドネシアには100万haの石炭鉱区があり、今後70万haの緑化が必要とされている。今回訪問したブラウ(Berau)炭鉱はインドネシア東カリマンタン州タンジュンレデブ市を取り囲むような形で広がっている(図2)。1994年に商用生産が開始され、現在、ラティ、サンバラッタ、ビヌンガンの3鉱区から年間約1,000万トンの石炭(亜瀝青炭並びに瀝青炭)が生産されている。開発許可面積は約12万ha(今まで開発済み面積は2万ha)である。緑化予定面積は3鉱区合わせて約670haで、毎年170haずつ

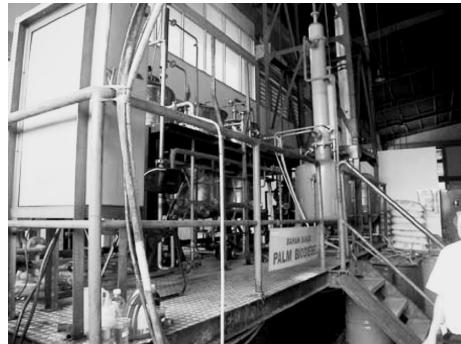


写真3 BDF製造プラント  
(BPPTエネルギー技術開発センター)



図 2 ブラウ炭鉱の位置



写真 4 ブラウ炭鉱における *Acacia mangium* 植林

林と定義され、樹木以外の商業作物（オイルパームなど）を植えることも可能である。同炭鉱の開発許可期間は 20 年以上あることから商業的な施業も可能であるものの、再緑化に重点をおいてきたために十分な検討がされてこなかった。そうした中、同炭鉱ではナンヨウアブラギリを新たな緑化樹種として採用して植栽試験を行っている。これはこの植物が劣化した土壌でも成長可能であることや、油の利用という副次的利用が期待できるからである。植えつけは、種子の直まき、苗木移植、直挿し木の 3 通りで実施され、約 3,300 本/ha で行われている。植栽の様子を写真 5 に示す。現在、植栽試験を 2 鉱区で約 10 ha 実施している。植栽コストは苗木代以外の分はアカシアマンギウム再緑化の場合とほぼ同様と試算している。これは再植林のための人員、および石炭運搬ルート

増加する計画である。

緑化方法として天然林に戻すことは不可能であるので、アカシアマンギウム、ファルカタなどの早生樹を植栽している（写真 4）。これは樹木の成長が早く降雨による土壌の侵食を早期に抑止できることや、緑化そのものを短期に行えるためである。また再緑化地の一部ではムラワルマン大学との共同試験が実施されており、メランティ、チーク等の用材樹種の植栽試験や草本植物による表土蓄積試験が実施されている。この炭鉱では 1 トンの石炭を掘るのに土を 8 ~ 10 m<sup>3</sup> 取り除いている。この値は他の炭鉱に比べ高い値である。剥土は所定の場所に一時的に移され、採炭後に再び埋め戻されるが、高い剥土量ゆえに、剥土の保管時における土壌の表土・下層土の分別は難しいようである。露天掘り跡地に植えられた森林は転換

を活用するために新たな人件費や収集路建設が不要であることによる。今後は植林面積を 200 ha に拡大し、これに並行して BDF 製造プラント（数トン/日の規模）の建設を計画している。生産した BDF は全量採炭機械の燃料として利用し、軽油の消費削減による炭酸ガスの排出削減、小規模 CDM によるクレジットの獲得、採炭コストの削減をはかることにしている。さらに搾油残渣の利用

方法として炭化によるエネルギー利用、土壤還元による肥料としての利用を検討している。

## 5. おわりに

冒頭で述べたように、インドネシア人民福祉省は 2010 年までに 1,000 万 ha の荒廃地にナンヨウアブラギリを植栽するという計画を打ち出しており、ナンヨウアブラギリによる BDF 生産に大きな期待がかけられている。しかしインドネシアでは、政府が荒廃地と区分している土地であっても、地域住民により様々な利用がなされていて、まとまった面積の土地で植栽事業を実施するのが困難であることがよくある。またナンヨウアブラギリからの BDF 生産については、いまのところ収穫、加工、利用のモデルが不明瞭である。そうした中、炭鉱跡地におけるナンヨウアブラギリ植林は、土地利用権（再緑化の責任の所在）がはっきりしている点、種子油の採炭機械での利用という出口を明確にしている点で、極めてユニークで大きな可能性を有していると考えている。今後実用化へ向けて著者らはこの利用モデルの実行性を検討してゆくことにしている。

ボゴール農科大学の Erliza Hambali 教授、科学技術応用評価庁（BPPT）エネルギー技術開発センターの Faizul Ishom 氏にはナンヨウアブラギリの特性に関して多大なるご助言を頂いた。また双日（株）牧野英一郎氏、渡辺一成氏、Pt. Berau Coal 社 I Made Seroja 氏、Boorliant Satryana 氏、Manahan Hariandja 氏、古庄通章氏にはブラウ炭鉱訪問にあたり全面的なご協力を頂いた。



写真 5 ブラウ炭鉱・ビヌンガン鉱区埋め戻し地におけるナンヨウアブラギリ植栽試験地

た。ここに記して謝意を表する。

- 〔参考文献〕 1) 热帯植物研究会編 (1991) 热帯樹木要覧, p 224, 養賢堂. 2) Energy plant species, ed by N. El Bassam (1998), p 162-166, James & James, London, UK 3) 横山伸也・石田祐三郎・澤山茂樹監訳 (2004) エネルギー作物の事典 (2の翻訳本), p 192-198, 恒星社厚生閣 4) K. Openshaw (2000) A review of *Jatropha curcas* : an oil plant of unfulfilled promise, Biomass & Bioenergy, 19, 1-15 5) E. Hambali (2006) 提供資料. 6) F. Ishom (2006), *Jatropha curcas* — Cultivation for land rehabilitation : Poverty restrain and energy resources in Indonesia, Proceedings of Biomass Asia Workshop 2, Bangkok (Thailand), p 100. 7) 堀田 満ほか (1986) 世界有用植物事典, 平凡社. 8) NEDO, 九州電力ほか (2005) インドネシアにおけるナンヨウアブラギリ油の小規模分散発電システム開発, 平成17年4月NEDO報告書. 9) 坂 志朗 (2006) バイオディーゼルのすべて, 株式会社アイティー. 10) H. Nakagawa, and T. Harada (2005) Biomethanol Production from Lignocellulosic Resources in the Tropical land and Subtropical Area. JIRCAS Working Report, 39, 1-6.

#### 海外林業研究会のご案内

本研究会は海外森林・林業・林産業に関心のある技術者、研究者、教官等からなる団体で、年1~2回の研究会、講演会、セミナー等の開催のほか、「熱帯林業」誌（年3回）及び「緑の地球」（年4回）を会員に配布しております。

本会の年会費は3,500円です。なお、「熱帯林業」購読のみの方は、年2,500円です。入会申し込み等の問い合わせは、国際緑化推進センターへ。

(財)国際緑化推進センター

〒112-0004 東京都文京区後楽 1-7-12 林友ビル 3F

電話 : 03-5689-3456 Fax : 03-5689-3360

e-mail : jifpro@jifpro.or.jp