

ブラジルのバイオ燃料生産とその課題

Biofuel Production in Brazil and Its Problems

丸 山 浩 明*

MARUYAMA, Hiroaki

Abstract: Biofuel derived from renewable biomass attracts increasing attention from the world as essential energy for the solution of global warming issue by the reduction of greenhouse gases. In this paper, attempts are made to clarify the history, the development of legal systems, and the current situation and problems of biofuel production in Brazil, which exerts a strong influence on international biofuel market.

The results are summarized as follows:

1. The attainment of carbon neutral is quite difficult in case where whole cycle of biofuel production from the cultivation of raw materials to biofuel distribution is taken into account.
2. The working environment of sugarcane cutters is quite unhealthy and the rapid improvement should be achieved.
3. The biofuel production using cereals as raw materials exerts a grave influence on food and forage supply in the international market and raises economic chaos. The development of nonfood raw materials that are useful for biofuel production should be promoted.
4. The biofuel boom in Brazil has accelerated the large scale agricultural development. The agricultural frontier penetrates deep into *amazônia* beyond *cerrado* and the deforestation of tropical rainforest has been worried about.

Key words: 再生可能エネルギー (renewable energy), バイオ燃料 (biofuel), フレックス燃料車 (flexible fuel vehicle), 森林破壊の弓状地帯 (*arco de desflorestamento*), 穀物メジャー (major grain companies)

I はじめに

II バイオ燃料生産の歴史と法整備

- 1) バイオ燃料生産の歴史
- 2) バイオ燃料の普及を促す法整備

III バイオ燃料生産の実態

- 1) バイオエタノール生産の実態
- 2) バイオディーゼル生産の実態
- 3) 給油スタンドでの燃料販売

IV バイオ燃料生産の課題と展望

—むすびにかえて—

- 1) 「カーボンニュートラル」の困難性
- 2) サトウキビ栽培者の過酷な労働環境
- 3) 食料・飼料供給の不安定化に対する危惧
- 4) アマゾンの自然環境を脅かす大規模な農地開発

*立教大学文学部・教授

I はじめに

地球温暖化問題の解決に不可欠な温室効果ガスの排出量削減には、石炭や石油などの化石燃料の消費を抑制する必要がある。現在、その代替エネルギーとして注目を集めているのが「再生可能エネルギー (renewable energy)」である。これは自然界に由来して枯渇しないために、永続的な利用が見込まれる太陽光や太陽熱、水力、風力、地熱などで、再生可能な生物由来の有機性資源であるバイオマス (biomass) を原料に生産されるバイオ燃料 (biofuel) もこれに含まれる。

代表的なバイオ燃料は、ガソリンの代替燃料となるバイオエタノールと、軽油の代替燃料となるバイオディーゼルである。バイオ燃料の主要な生産国は、アメリカ合衆国、ブラジル、ドイツで、2007年現在、世界全体で生産される液体バイオ燃料の85%をこれら3国が占めている (丸山, 2011)。

世界のバイオエタノール生産量は、2000年には293億リットルであったが、2007年には496億リットルにまで急増し、その49.6%をアメリカ合衆国、38.3%をブラジルが生産している。ただし、アメリカ合衆国ではトウモロコシ、ブラジルではサトウキビがバイオエタノールの主要な原料となっている¹⁾。

一方、世界の主要なバイオディーゼル生産地はドイツを中心とするEUである。2009年のEUの生産量は世界全体の50%以上を占めており、近年急速に生産が拡大しているブラジルの生産量は1割弱であった。なお、2008年におけるEUのバイオディーゼル生産量は合計775.5万トンで、生産量の上位3カ国はドイツ (281.9万トン)、フランス (181.5万トン)、イタリア (59.5万トン) の順である²⁾。EUでは、おもに菜種やヒマワリ、大豆などの植物油を原料として燃料生産が進められている。

そこで、本稿は世界のバイオ燃料生産を先導するブラジルを対象として、その導入・発展の歴史と法整備の現状を踏まえつつ (II章)、具体的なバイオエタノール・バイオディーゼル生産の実態 (III章) とその課題や展望 (IV章) について実証

的に解明することを目的とする。

II バイオ燃料生産の歴史と法整備

1) バイオ燃料生産の歴史

ポルトガルの植民地として開発が進んだブラジルでは、16世紀後半～17世紀にかけて、ノルデステ (北東部) の沿岸部を中心に製糖用のサトウキビ栽培が発展した。沿岸部に分布する肥沃な腐植土 (マサッパ) や奴隷労働力の存在などに支えられて、ノルデステのサトウキビ栽培と製糖産業は、約150年間にわたり世界の砂糖市場を席卷した。そして、18世紀以降、金、コーヒー、綿花、天然ゴムなど他の生産物に主役の座を譲った後も、今日まで営々とその栽培・加工は続けられている。

しかし、サトウキビの栽培目的や生産地には近年大きな変化が認められる。すなわち、バイオ燃料の原料としてのサトウキビ栽培が、バイオエタノール工場が集積する南東部のサンパウロ州やミナスジェライス州、南部のパラナ州を中心に急増しているのである。

そもそも、ブラジルにおけるバイオエタノール生産の歴史は古く、すでに1925年にエタノール混合ガソリンを使った車の走行試験が実施されている³⁾。しかし、バイオエタノールがすぐに燃料として普及することはなく、海外から輸入される石油に大きく依存したエネルギー政策が長く実施されてきた。

ところが、1973年にOPECが原油価格を突然引き上げ、第1次オイルショックが世界中を急襲すると、当時国内石油消費量の約75%を輸入に頼っていたブラジルは大きな打撃を被り、大胆なエネルギー政策の見直しと転換を迫られる結果となった。

そして、時の大統領エルネスト・ガイゼル (Ernesto Geisel) のもとで、石油の輸入抑制を目的とするエネルギー転換が企図され、1975年に大統領令22,789号により「プロアルコール計画 (PROÁLCOOL)」が実施された。この計画は、輸入に依存するガソリン燃料から国産のバイオエタノール燃料への本格的な転換を目指すもので、具

体的には、1) バイオエタノールを増産するために、その生産を担うウジーナ (usina) と呼ばれる近代的な製糖工場の新設に多額の補助金を融資する、2) バイオエタノール燃料の全国的な普及を実現するために、ブラジル石油公社のペトロブラス (PETROBRAS) を通じて、バイオエタノールの給油スタンドを全国に設置する、3) バイオエタノールだけで走行できる国産車の生産を奨励し、優遇税制を通じてその普及を図る、といった施策が実施された。

その結果、ガソリンには無水エタノールを20%混合し、1980年には含水エタノールを100%燃料とする自動車販売された⁴⁾。ガソリンよりも安いバイオエタノールを燃料とし、エンジン出力も大きいアルコール車は好評を博して、1980年代に急増した。1985年には販売された新車の9割強がアルコール車となり、バイオエタノールの生産量も年間100億リットルに達して、自動車燃料の約半分を賄うまでに発展した(西島, 2004)。この当時、ブラジルにはアルコール車が溢れ、車から出る排気ガスの甘い香りが町に漂っていた。

しかし、1990年代初めには原油価格が下落する中、「プロアルコール計画」が廃止されて、バイオエタノールに対する政府の補助政策が段階的に打ち切られた。その一方で、砂糖の国際価格が上昇に転じて、サトウキビが製糖用に回されたため、バイオエタノールの供給不足から、給油スタンドでは燃料を求める長蛇の車の列ができ、結果的に国民のアルコール車離れが加速化した。

2000年代に入り原油価格が上昇に転じると、ふたたびバイオエタノール燃料が見直されるが、国民は1990年代の苦い教訓からアルコール車への切り替えには極めて慎重であった。そして、この時大きな注目を集めたのは、かつてのアルコール(バイオエタノール)専用車ではなく、ガソリン、バイオエタノール、そしてそれらの任意の混合比率の燃料に対しても最適な空燃比と点火時期を自動調整して走行ができるフレックス燃料車(FVV: Flexible Fuel Vehicle)であった。

ブラジル政府が、日本の車両取得税や自動車重量税に該当する税金の軽減措置を打ち出して、そ

の普及に努めたことや、2003年にフォルクスワーゲン社がサッカー王国であるブラジルにちなんで「ゴール (GOL)」という名の国産低価格車を販売したことなどから、フレックス燃料車は国内の自動車販売市場で爆発的な人気を博した。

2006年には、国内で販売された乗用車1,824,266台(輸入車も含む)の78%がフレックス燃料車となった。その比率はその後にも上昇を続け、2010年には国内の新車販売台数の85.6%がフレックス燃料車であった。現在、ブラジルではトヨタやホンダといった日系企業も含む世界の自動車メーカーが、現地でフレックス燃料車の製造と販売に凌ぎを削っている。

2) バイオ燃料の普及を促す法整備

バイオエタノールの生産と普及を最初に促すきっかけとなったのは、1975年の「プロアルコール計画」の実施であり、ガソリンとバイオエタノールの混合燃料の市場導入や、バイオエタノールを100%燃料とするアルコール車の普及が図られた。

その後、1993年には法令8,723号によりガソリンへのバイオエタノール混合が義務づけられ、フレックス燃料車の販売が始まった2003年には、農務省令554号によりガソリンへのバイオエタノール混合率が25%に設定された。

その後、2006年にはバイオエタノールの混合率が23%であったが、2007年には25%へと上昇した。しかし、2010年の後半には豪雨の影響などでサトウキビの収穫量が減少してバイオエタノール価格が上昇し、2011年にはバイオエタノールの混合率が一時的に20%に引き下げられるなど、天候により変動するサトウキビの需給関係に影響されて、混合率は20~25%で推移している。

一方、バイオエタノールに比べて法整備が遅れたバイオディーゼルは、2003年に燃料規格が定められ、2004年の暫定措置令214により国家石油庁(ANP: Agência Nacional do Petróleo)がその規格や生産の監督に当たることになった。

そして、2005年1月に提出された法令11,097号により、「国家バイオディーゼル生産・利用計画(PNPB: Programa Nacional de Produção e Uso

do Biodiesel)」が実施され、軽油に対するバイオディーゼルの最低混合率が定められた。また、同法により国家石油庁が改名されてできた国家石油・天然ガス・バイオ燃料庁 (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) が、新燃料の市場導入を監視することになった。

本法令の具体的内容は、2005～2007年の3年間は、石油由来の軽油にバイオディーゼルの2%混合することを許可し、2008～2012年にはその2%混合、さらに2013年以降はその5%混合を義務化するというものであった。この法令により、バイオディーゼル燃料の継続的な需要が保証されることになり、2%義務化後には年間約10億リットル、5%義務化後には年間24億リットルの国内需要が創出されると試算された。

しかし、実際には2008年7月から3%混合が義務化され、2009年7月からは4%混合、2010年1月からは5%混合が義務化となり、法令11,097号を反故にしつつ、大きく前倒しの形で混合率の引き上げが実施されてきた。将来的には、バイオディーゼルの混合率をさらに10%まで引き上げる検討もなされているといわれ、法令による混合率の引き上げにともない、バイオディーゼルの生産量が今後さらに増加することが予想される。

バイオエタノール生産が、経済的に豊かな南東部や南部の大規模農場や企業を中心に展開されているのは異なり、バイオディーゼル導入の背景には、経済的に恵まれないブラジルの後開発地域である北部や北東部、半乾燥地域での新規雇用の創出や、小規模農家への経済的支援が目的として掲げられていることを見逃してはならない。

すなわち、バイオディーゼル工場の設置や燃料の生産・販売に当たっては、国家石油・天然ガス・バイオ燃料庁の認可が必要とされ、認可を受けた企業が国から税制の優遇措置を受けるためには、「社会的燃料認可証 (Selo Combustível Social)」を取得しなければならない (小園, 2007)。

企業が「社会的燃料認可証」を取得するための条件は、1) 北東部・半乾燥地域で50%、北部・中西部で10%、南東部・南部で30%以上の原料を小規模農家から購入すること、2) 小規模農家と契約を結び、その契約内容は農家グループ (組

合) が適切と判断して同意したものであること、3) 企業は契約農家に対して適切な技術支援を行うこと、の3つである。つまり、政府は税の優遇措置を餌にして、企業に対し小規模農家からの安定的なバイオディーゼル原料の買い取りを誘導しているのである。

バイオディーゼルの連邦税に関わる2005年の法令11,116号では、連邦燃料税 (CIDE) と社会福祉関連連邦税 (PIS/PASEP & Cofins) を合算した通常の課税額が1 m³あたり218レアルなのに対して、原料が北部・北東部・半乾燥地域で生産されたトウゴマやデンデヤシで、その生産者が小規模農家なら課税はなし (100%の減税)、小規模農家以外なら151レアル/m³ (30.7%の減税)、上記指定地域以外の小規模農家が生産したすべての原料は70レアル/m³ (67.8%の減税) と設定され、「社会的燃料認可証」を受けた場合の大きな減税のメリットがアピールされている⁵⁾。

さらに、「国家家族農業強化計画 (PRONAF: Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar)」により、バイオディーゼルの原料となる作物を栽培する小規模農家に対する低金利融資が実施されており、企業から入る安定的な現金収入と相俟って、ブラジル奥地の農村部でバイオディーゼル原料用の農地開発が加熱している。

Ⅲ バイオ燃料生産の実態

1) バイオエタノール生産の実態

バイオエタノールの生産量や価格を左右するサトウキビの収穫量は、その年の天候や収穫期 (通常4月頃から始まり12月頃まで続く) に規定されて変動する。2011年度は、乾燥の影響でサトウキビの収穫量が71～72トン/haと平年 (約85トン/ha) より大きく減少したため、バイオエタノールの生産量も220億リットルと前年度の274億リットルより約20%減少した (日本ブラジル中央協会, 2011)。同様に、砂糖の生産量も2010年度の3,800万トンから、2011年度は3,500万トンに減少した。こうした中、ブラジルではサトウキビの搾り液からだけでなく、その搾り滓であるバガス (bagaço) からエタノールを精製す

る研究が進められている。

a. バイオエタノール工場の分布

図1は、2007年のブラジルにおける砂糖・バイオエタノール工場の分布図である。ブラジルでは、16世紀後半～17世紀にかけて北東部の沿岸域で砂糖産業が隆盛を極めた。そのため、砂糖を生産する大規模なウジーナ（近代的精糖工場）は、元来北東部の沿岸部に集積していた。

ところが、近年のバイオエタノールブームは、ブラジル最大の工業地帯であるサンパウロ州を中心とする南東部から南部のパラナ州にかけて多数のバイオエタノール工場を集積させており、結果的にサトウキビ栽培もこれらの地域で急速に栽培面積を拡大している。

2007年における砂糖・エタノール工場の分布を地域別にみると、北部・北東部が合計79工場なのに対して、南東部・南部・中西部は合計288工場で、その数は3.6倍にも達している。こうし

たバイオ燃料工場の偏在に加え、サンパウロ州などには世界屈指の生産能力を誇るウジーナも数多く立地する。そのため、バイオエタノールの生産量は工場数以上に地域的な偏在が大きく、国内総生産量の91%を南東部・南部・中西部が生み出している⁶⁾。

なかでもサンパウロ州は、ブラジルでもっともバイオエタノール工場の集積が顕著な所で、とくにチエテ川に沿って燃料工場やサトウキビ畑が増加している。今日、サンパウロ州は名実ともにブラジル砂糖産業の中核である。サンパウロ州における2009年度のサトウキビ、砂糖、バイオエタノールの生産量は、それぞれ3億6,400万トン、2,070万トン、155億リットルである。この値はブラジル全体のそれぞれ58%、63%、56%に相当する。

b. サンマルティーンニョの事例

サンマルティーンニョ（São Martinho）は、今日

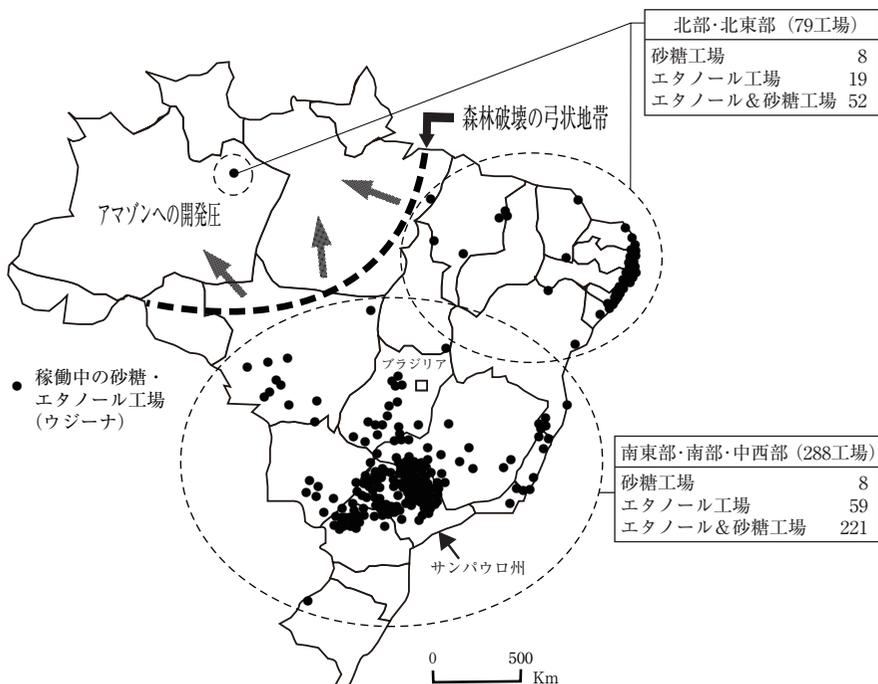


図1 ブラジルにおける砂糖・バイオエタノール工場の分布 (2007年)
(鉱山エネルギー省ほかの資料をもとに筆者作成)

ブラジルはもとより、世界においても最大級の砂糖・エタノール生産量を誇る大企業グループである。その起源は19世紀末のイタリアにあり、企業の中核であった Ometto 家の人々がブラジルに移住したことで、その輝かしい企業史はブラジルを舞台に繰り広げられることになった⁷⁾。

エンジェーニョ (engenho) と呼ばれる最初の旧式製糖工場は、1914年にシチオ・オリア (Sítio Olaria, シチオは小農場の意味) に建設されたが、一族が最初に砂糖を生産したのはゴヤス州の南部に位置するキリノポリス (Quirinópolis) 市に所有するファゼンダ・ボアビスタ (Fazenda Boa Vista, ファゼンダは大農場の意味) で、1932年のことであった。

その後、1937年にはサンパウロ州奥地のイラセマポリス (Iracemópolis) 市にあったウジーナ・イラセマ (Usina Iracema) を購入してアルコールの蒸留を始め、1946年からは砂糖の生産も開始した。さらに1948年には、サンパウロ市の北方約330 kmに位置するリベロンプレート地区のプラドポリス (Pradópolis) 市に、ウジーナ・サンマルティーニョ (Usina São Martinho) を購入して経営規模の拡大を図った。

このように、サンマルティーニョは現在3つのウジーナを稼働させており、サンマルティーニョとイラセマでは砂糖とエタノールの両方を生産し、ボアビスタはバイオエタノールの専門工場となっている。2010年度には、全体で1,310万トンのサトウキビを搾汁し、約87万3,400トンの砂糖と5億6,540万リットルのバイオエタノールを生産した。このうち840万トンはウジーナ・サンマルティーニョでの搾汁で、この工場が世界一のサトウキビ処理能力を誇るウジーナであることを実証している (写真1)。

ウジーナ・サンマルティーニョが高い生産性を維持できる背景には、1) サンパウロ州中部の主要なサトウキビ地帯に広大な畑を所有しており、1回の作付けでサトウキビが7回も収穫できること、2) サトウキビ畑がウジーナから平均24 km圏内に近接してまとまって分布するため、収穫後平均9時間で処理が始められ搾汁量が増大すること、3) ブラジルでもっとも機械化が進んだ処理

能力の高い近代的な工場であること、4) 敷地内に鉄道の支線が敷設されており、輸出港のサントスまで短時間で大量輸送が可能のため、生産物の貯蔵費用や輸送コストが大幅に削減できること、5) 高度なバイオテクノロジーを習得した経験豊富な専門技術者や管理者が揃っていること、などがあげられる⁸⁾。

ウジーナ・サンマルティーニョでは、サトウキビの絞り滓であるバガスを燃焼させて熱と電気を自前で生産、自給しており、余剰電力は電力会社に売却している。工場内で利用するサトウキビ運搬用のトラックやさまざまな農機具、種まきの小型飛行機などの燃料も、自前のバイオエタノールを利用している。また、バイオエタノールの蒸留過程で生じる排水を、肥料としてサトウキビ畑に散布している。

ウジーナ・サンマルティーニョでは、このような恵まれた生産環境のさらなる充実や徹底したエネルギー効率の追求を通じて、2020年の収穫期までにサトウキビの処理能力を約3,000万トンまで大きく増大させる目標を掲げている。

2) バイオディーゼル生産の実態

バイオディーゼル工場の設置にあたっては、国家石油・天然ガス・バイオ燃料庁の認可が不可欠である。2007年12月現在、バイオディーゼル工場は合計46工場 (内、国家石油・天然ガス・バイオ燃料庁の認可工場が19、認可申請中の工場が22、建設中が5) で、工場全体の生産能力は年間約20億リットルであった。このほかに、新規計画工場が19 (年間生産能力は合計9.48億リットル) あった⁹⁾。バイオディーゼルの生産量と工場数は、ともにその後も増加を続けており、生産量は32億リットル (2010年)、工場は57カ所 (2011年) にあるという (テラベ, 2011)。

バイオディーゼルの原料となる作物は、ヤシ類、大豆、綿、ヒマワリ、トウゴマ (ヒマ)、ジャトロファ、ベニバナ、菜種など極めて多彩で、現在試験栽培中のもも多い。IBGE (2010) によると、バイオディーゼルの原料別生産量でもっとも多いのは大豆 (75.2%) で、次いで牛脂 (17.6%)、綿花油 (5.1%)、その他 (2.1%) と続く。

a. バイオディーゼル工場の分布

図2は、ブラジルにおけるバイオディーゼル工場の分布（左，2007年）とバイオディーゼル生産量（右，2008年）の分布図である。燃料としての生産・実用化の歴史が古いバイオエタノールに比べると、バイオディーゼルは工場数・生産量ともに未だ小規模である。

工場・生産量の分布は、バイオエタノール同様、ともに南東部・南部・中西部で卓越するが、原料となる油料作物の栽培地に引きつけられるように、工場が北東部やセラード地帯の内陸奥地にまでより広域的に分散立地している。

b. プロドゥソージャの事例

プロドゥソージャ (PRODUSOJA) は、マットグロッソドスル州のサンガブリエルドエステ郡に立地するバイオディーゼル企業である（写真2）。この地域では1973年頃にコーヒーが導入されたが、1974年に大きな霜害を受けて衰退し、かわって1975年頃から大豆栽培が導入された。

その後、大豆栽培の拡大・発展とともに、アメリカ系のカーギル (Cargill) やADM (Archer Daniels Midland)、オランダ系のブンゲ (Bunge) といった多国籍穀物メジャーがこの地域にも進出し、豊富な資金力を背景に農家から大豆を買い占

めるようになった。さらに、ブラジルの大豆取り扱企業を次々と買収して独占状態を作りだし、大豆などの穀物価格は世界市場における価格変動の影響を直接的に被ることになった（丸山，2007）。

また、大豆の収穫量は天候や病虫害の影響を強く受けて不安定であり、価格の大きな変動とともに農家経営を苦しめている。たとえば、多雨と日照不足でサビ病が発生した2008年には、平年で平均46俵/ha（1俵は60kg）の収穫量が36俵/haまで激減し、農家は大きな損害を被っている。

プロドゥソージャは、こうした多国籍穀物メジャーの進出による作物の買い叩きやサビ病の蔓延などによる小規模大豆栽培農家の経済的損失を少しでも軽減して利益を上げるために、1996年に30軒のブラジル人農家が集まって設立された地元資本のバイオディーゼル企業である¹⁰⁾。

当初30軒の農家で設立された企業は、その後大豆栽培を中止したり、北のマットグロッソ州に移転したりする農家が出たため、2008年現在、21農家はその構成員である。現在この企業では、トウモロコシや大豆の穀物販売のほかに、大豆油からバイオディーゼを生産・販売し、さらにその廃棄物として生じる大豆かす (farelo de soja)

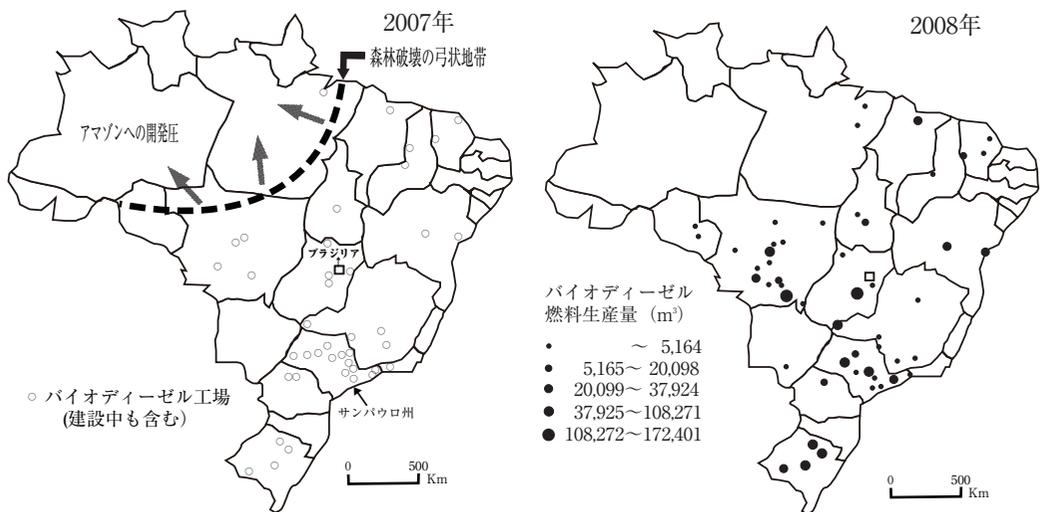


図2 ブラジルにおけるバイオディーゼル工場（左）とバイオディーゼル生産量（右）の分布
 (鉦山エネルギー省, IBGEほかの資料をもとに筆者作成)

を飼料として販売している。

バイオディーゼル生産に大きく経営を移行させた理由は、価格や収穫量の変動が大きい大豆を食用としてそのまま販売するよりは、工場大豆を搾汁して、バイオディーゼル燃料と飼料用大豆かすの両方を販売することで、約2倍の収益が見込めるからである。実際、大豆かすは大豆そのものの販売価格とほぼ同額で売れるという。

2008年現在、燃料用に買入れる大豆全体の40%は、この企業の構成員である21農家が生産したもので、残りの60%は近隣の大豆栽培農家から購入しているという¹¹⁾。

敷地内には、大豆やトウモロコシを貯蔵する大きなサイロや倉庫が建設されている(写真2)。大豆は4本ある垂直サイロに貯蔵される。サイロ1基あたりの貯蔵能力は4,500トンなので、全体で18,000トンの大豆を貯蔵できる。また、大豆用の垂直サイロの横には、3万トンのトウモロコシを貯蔵できる巨大な倉庫が建設されており、2008年の調査時には約2万トンのトウモロコシが貯蔵されていた¹²⁾。

大豆油は2階建ての搾汁施設で生産されている(写真3)。2階には1時間に100kgの大豆を搾れる搾油機が設置されており、搾汁後の大豆油は1階に並べられたタンクに溜められ、油中の不純物は最後にフィルターに通して除去される。こうして抽出された油脂にメタノールと触媒を加えて精製すれば、バイオディーゼル燃料ができる。

この工場では、現在2万リットルの大豆油を貯蔵しており、足りなくなると適宜大豆を搾るという。ここでは自工場生産したバイオディーゼルの燃料として自家発電を行っており、とくに電力料金が高くなる17:30~20:30の時間帯には全電力を自給している。

しかし、大豆油から精製するバイオディーゼルは、原料の生産コストが極めて高いうえに燃料の生産量も少なく、燃料源としては限界があると経営者は指摘する¹³⁾。さらに、穀物を原料とするバイオ燃料生産は、世界の食料供給を圧迫するとの批判から逃れられないと考えている。

そこで、食料の安定供給を脅かすことなくバイオディーゼルの生産を拡大する可能性を模索し

て、プロドゥソージャでは工場の敷地内に10haの実験農場を設置し、食用以外のさまざまな油料作物からバイオディーゼルの生産を試みている。現在、バイオディーゼル用原料として試験栽培が行われている作物は、紅花(cártamo)、クランベ(crambe)、菜種(canola)、ピニャン・マンソ(pinhão manso、黒い実の中に種子がたくさん入っている)、ひまわり(girassol)、ナボ・フォラジェイロ(nabo forrageiro、被覆植物で小さなマメがたくさん付いており、土壌を肥沃にすることから大豆の裏作物¹⁴⁾としても栽培されている)、ヒマ(mamona)であった¹⁵⁾(写真4)。

実験農場では、これら油料作物のほかにも、飼料作物として23種類ものトウモロコシやソルゴー、そして3種類(ブリランテ、アリアンサ、BRS 18)の小麦などが試験栽培されていた。

なお、大豆を原料とするバイオディーゼル生産では、その副産物として大豆かすが出る。かつては農業廃棄物として捨てられていたが、現在は重要な飼料として販売されている。

搾汁後、大豆かすは飼料置き場へと運びだされ、殺菌ならびに雑草の種を殺すために(飼料に種子が混じっていると、それを食べた家畜の糞から農地に雑草が拡散してしまう)、370℃の高温で熱処理をした後、出荷・販売される。油量が2%と低い大豆かすは、日本へも輸出されているという。

3) 給油スタンドでの燃料販売

写真5は、ブラジルの給油スタンドで一般的に見られる自動車燃料の価格表示板である。Aはエタノール燃料、Gはバイオエタノール混合のガソリン燃料、Dはバイオディーゼル混合の軽油燃料を示す。

ガソリン燃料は、その成分からさらにガソリーナ・コムン(Gasolina Comum)、ガソリーナ・スプラ(Gasolina Supra)、ガソリーナ・ポディウム(Gasolina Podium)の3種類に分類され販売されている。通常、ガソリン燃料の中でもっとも価格が安いガソリーナ・コムンは、レギュラーガソリンに該当する。ガソリーナ・スプラは、エンジンの錆などをおとす添加剤が入った燃料で、ガソ

リーナ・アディティバダ (Gasolina Aditivada) とも呼ばれる。また、もっとも価格が高いガソリーナ・ポディウムは、ハイオクガソリンに対応し、現在ペトロプラス (ブラジル石油公社) が販売を行っているが、まだ取り扱っている給油スタンドは多くない。

これらの多様な燃料の中からどれを選択するかは、自動車の種類や地域性を反映した燃料価格などによりドライバーが総合的に判断する。使用できる燃料が限定されている旧式の自動車を除き、フレックス燃料車の場合には、各燃料間の価格差が選択の決め手となる。燃料ごとの1リットルあたりの走行可能距離と価格差を考慮すると、一般にエタノール燃料の価格がガソリン燃料の価格の70%を下回っていれば、エタノール燃料を選択した方が経済的だといわれている。

ただし、エタノール燃料の価格は、偏在するバイオエタノール工場の立地に起因して地域差が大きい。そのため、バイオエタノール工場が少ないブラジルの北部や北東部では、相対的にエタノール燃料の価格が高騰してガソリン燃料との価格差が小さくなり、ガソリンを選択した方が経済的なことも多いという。フレックス燃料車の登場により、ドライバーは常に多様な燃料の価格変動に注意を払うようになっている。

IV バイオ燃料生産の課題と展望

—むすびにかえて—

1) 「カーボンニュートラル」の困難性

バイオ燃料は再生可能なうえに、原料の植物が光合成により二酸化炭素を吸収するため、燃焼させても二酸化炭素は増加しない「カーボンニュートラル (carbon neutral)」な燃料として期待が高い。しかし、実際には農地の造成、原料となる農作物の栽培、工場での燃料製造、原料や生産物の輸送など、バイオ燃料が消費者に届くまでの一連のサイクル全体で見れば、温室効果ガスの排出が十分に抑制されているとは言い難い。

バイオエタノールを事例に見れば、サトウキビ畑を造成のための大規模な森林伐採と焼却 (焼き畑)、化石燃料から作られた化学肥料や農薬類の

畑への投与、サトウキビの収穫作業を容易にするための畑への火入れによる煤煙の大量排出 (温室効果ガスのメタンや亜酸化窒素も含まれる)、化石燃料から生産されたガソリンや軽油で動くトラクターなどの農機具や輸送トラックの利用、燃料の製造過程で利用される化石燃料由来の電力使用など、原料のサトウキビ栽培から燃料が市場に出荷されるまでのサイクル全体における温室効果ガスの排出量は大きく、未だ「カーボンニュートラル」の実現は課題が山積して困難な状況である。

2) サトウキビ栽培者の過酷な労働環境

広大なサトウキビ畑で収穫作業にあたる労働者は、一般により良い賃金を求めて畑を渡り歩く、農民の中でも土地をもたない最下層の農業労働者たちである。ブラジルでは、危険なヘビを退治し、サトウキビを刈りやすくするために、収穫に先立って畑を焼き払うのが一般的である (ジョエル, 2007)。

そのため、農業労働者たちは熱帯の酷暑の中、膝より下をゴム製の長い脚絆で覆い、厚手の手袋や首筋まで覆うフード付きの帽子を着用し、顔以外は体中を完全防備の状態です。真っ黒なすすと汗にまみれてサトウキビの刈り取り作業に従事している。その過酷な労働と、煤煙などの有害物質の大量吸入がもたらす健康被害が懸念されている。

また、バイオエタノール需要の急増にともなうサトウキビ畑の拡大は、企業側に収穫作業の機械化による生産性の拡大を促しており、将来的には農業労働者の雇用喪失や賃金の減少も危惧されている。

3) 食料・飼料供給の不安定化に対する危惧

本来は食料や飼料であるトウモロコシや大豆、サトウキビなどの農作物を、バイオ燃料生産の原料に利用することに対しては、世界的に根強い批判がある。すなわち、世界にはまだ飢餓に直面して生死をさまよう人々がいるのに、彼らを救える食料を燃料生産に回すことは、人道主義にもとる行為であるという理念的な批判がまず存在する。

また、本来食料や飼料として流通すべき農作物が燃料用の原料となることで品不足となり、国際

市場での価格高騰を通じて食料・飼料の安定供給が大きく脅かされて経済的混乱が生じるという、より現実的な批判もある。

実際、トウモロコシ由来のバイオエタノールブームに沸いた2000年代後半のアメリカ合衆国では、バイオエタノール工場が買い取る燃料用のトウモロコシ価格が高騰して、農家は競ってトウモロコシ栽培へと作付転換を図った。その結果、食料や飼料用の大豆や小麦の生産量が減少して市場での価格高騰が進み、それらを原料とするさまざまな食品類にまで品不足や値上げが生じて、経済混乱が世界各地を襲ったことは記憶に新しい。

ブラジルの場合、バイオエタノール生産の主原料は穀物ではなく、調味料に加工されるサトウキビであるため、アメリカ合衆国のトウモロコシ栽培のように、食料・飼料供給を圧迫する元凶としての批判を真正面から受けずに済んできたきらいがある。しかし、ガソリンへのバイオエタノール混合に加えて、軽油へのバイオディーゼル混合が法令で義務づけられたことで、その状況は大きく変わりつつある。

すなわち、バイオディーゼル燃料の増産に向けて大量の油脂を安定的に確保せざるを得ない状況下で、現在ブラジルはその主原料を世界第2位の生産量を誇る大豆に依存せざるを得ないからである。実際、穀物メジャー、地元大豆搾油企業、そして大豆生産者のいずれもが、「国家バイオディーゼル生産・利用計画 (PNPB)」を大豆生産拡大の好機と捉えている。その結果、燃料用大豆需要の急激な増大が、世界の穀物市場における食料・飼料用大豆の価格高騰と品不足を誘発し、トウモロコシの場合と同様に、国際市場での大豆の争奪戦と経済混乱を引き起こす危険性がある¹⁶⁾。

エタノールにせよディーゼルにせよ、穀物由来のバイオ燃料生産は、現状では食料・飼料用穀物との競合などによる原料不足や生産コスト高といった問題から逃れることができない。こうした中、ブラジル政府はノルデステ (北東部) やアマゾンなどの小規模農家の経済支援を念頭に、ヤシ由来のパーム油 (デンデヤシから抽出されるデンデ油) やひまし油など、食料以外の植物油に由来するバイオディーゼル生産を推進しており、国の内外か

ら大きな期待が寄せられている。

さらに、食料との競合を避けるためには、糖質の多い農作物を発酵させて燃料を得るこれまでの「第1世代バイオ技術」から脱却して、農業廃棄物 (トウモロコシや米などの茎や葉、皮など、収穫後の不要部位) や林業廃棄物 (端材や樹皮、おがくずなど)、製紙用パルプ、固形廃棄物 (家庭から出るゴミなど)、牧草 (痩せた土地でも労力や肥料を使わずに早く育つスイッチグラスなど) といった、食料と競合しないセルロース系原料からの燃料生産を可能にする「第2世代バイオ技術」の早期確立が、商業ベースで実現することが希求されている (山下, 2009)。

4) アマゾンの自然環境を脅かす大規模な農地開発

バイオ燃料生産の増大がアマゾンの熱帯林破壊を加速化させるとの批判に対して、ブラジル政府は、南部・南東部を中心とするサトウキビの主要な栽培地域やバイオエタノール工場の集積地が、アマゾンから約2,000 km以上も遠く離れていることや、アマゾンの気候がサトウキビ栽培には適していないとの理由から、その危惧は当たらないとの見解を示してきた。

しかし、現実にはバイオ燃料ブームの中で、サトウキビ畑や大豆畑がセラード地帯の森林や荒地、牧場などを蚕食しながら拡大を続けている。その結果、新たに大規模な牧場や大豆畑を求めて、牧場主や大豆生産者たちが玉突きのように次々とセラード地帯を越えて「法定アマゾン (Amazônia legal)」¹⁷⁾ の南部から南東部へと侵入し、「森林破壊の弓状地帯」と呼ばれる農地開発のフロンティアを形成しつつアマゾンの自然環境を脅かしている¹⁸⁾ (西澤ほか, 2005, 図1・2参照)。

現在、日系人の集団入植地として有名なパラ州のトメアス (Tome Açú) 近郊には、広大なデンデヤシ畑が広がっている (写真6)。これはかつて大牧場だった場所を、ブラジル石油公社のペトロブラスと資源会社のヴァレ・ド・リオ・ドーセ (Vale do Rio Doce) が合併で設立したビオパルマ (BIO PALMA) という企業が買収して造成したもので、バイオディーゼル用の原料となるデンデヤ

シ（アメリカブラヤシ *Elaeis oleifera* で、伯名はデンデ・ド・パラ *dendê do Pará*）が植えられている。畑には、2年ほど苗床で育てた苗が移植される。

トメアス近郊では、ビオパルマ（12万 ha）のほかにも、政府の経済的支援を受けて地元の小規模農家がデンデヤシ畑の造成に乗り出しており、最終的には約30万 haにおよぶ広大なデンデヤシ地帯がここに出現する予定だという。2000年の森林法改正により、「法定アマゾン」の森林地域で新規に農地造成を行う場合には、その80%を自然のままに保全しなければならない。しかし、ここはすでに牧場地帯であり、森林伐採の必要がなく、農地の地目転換だけで済む。そのため、環境保全の規制が厳しいアマゾンでも、容易に巨大なヤシ畑を造成できるのである。

牧場からヤシ畑などへの地目転換は、牧場主にとっても好都合である。すなわち、土地の売却益に加えて、市場での肉不足に起因する価格高騰により牛の売却益も大きくなるのだという。ここでは、バイオ燃料の生産者も牧場主も、ともにアマゾンの厳しい環境法の網の目をくぐり抜けて儲けられる共利共生の構造ができています。

バイオ燃料ブームが、直接・間接的に燃料用の大規模な農地造成を通じてアマゾンの自然環境に甚大な影響を及ぼしていることは事実である。急速かつ大規模な農地開発の手が、「森林破壊の弓状地帯」を越えてさらにアマゾン奥地の熱帯林や先住民居留地などに無秩序に侵入し、森林破壊や先住民・小規模農家の排除につながることはないよう、厳格な監視と規制が不可欠である。

注

- 1) トウモロコシに比べて、サトウキビは茎に糖分を20%も含有しているため、収穫後に手間と資金をかけずに発酵することができ、1haの畑からトウモロコシの2倍以上のバイオエタノールが生産できる利点がある。さらに、ブラジルのエタノール生産コストは1リットルあたり約0.22～0.28ドルで、アメリカ合衆国（トウモロコシ）の約0.3～0.35ドル、ヨーロッパ（ビート）の約0.45～0.55ドルに比べて低いという（小池、2008）。
- 2) EBB（European Biodiesel Board）の Official Press Release による。
<http://www.ebb-eu.org/EBBpress.php>（最終閲覧日：2012年1月9日）。
- 3) サトウキビから生産されるエチルアルコール（エタノール）は、ブラジルでは一般にアルコールと呼ばれ、給油スタンドでは頭文字を取ってAと表記されてきた。しかし、近年は世界的に呼び慣わされているエタノールの呼称が普及して、Eと表記されるようになっていく。
- 4) ブラジルで生産されているバイオエタノールは、無水エタノールと含水エタノールの2種類である。このうち、ガソリンに混合されるのは無水エタノールの方で、含水エタノールはオットーサイクル（混合気火花点火）エンジン用の燃料として直接使用されている。
- 5) ディウマ・ルセフ国務大臣、大統領府官房長官による「バイオ燃料 ブラジルの経験」
<http://www.brasemb.or.jp/economy/pdf/etanol.pdf>（最終閲覧日：2012年1月8日）。ならびに小園（2007）を参照。
- 6) 前掲5)
- 7) サンマルティニョの歴史や現況については、同企業のホームページにまとめられている。
<http://www.saomartinho.ind.br/>（最終閲覧日：2012年1月8日）。
- 8) 前掲7)
- 9) 前掲5)
- 10) この企業の社長は、リオグランデドスル州出身のドイツ系移民の子孫で、農薬を散布する小型飛行機会社の社長でもある。また、彼の妻はイタリア系移民の子孫である。
- 11) この郡では、2007年度の大豆収穫量のうち80%が遺伝子組み換え（GMO: Genetically Modified Organism）大豆、20%が非遺伝子組み換え（Non-GMOあるいはconvencional）大豆であった。また、同年度の大豆栽培面積は12万haであった。
- 12) この企業は、32,000トンの穀物を貯蔵できる工場をほかの場所にも所有しているため、企業全体の穀物貯蔵能力は84,000トンになる。
- 13) 2008年の聞き取りでは、サトウキビ畑1haあたり約7,000リットルのバイオエタノールが生産できるのに対して、大豆畑1haあたりからは480リットルのバイオディーゼルしか生産できないという。
- 14) 大豆は雨季の栽培作物である。一般に、播種は雨季が始まる10月15日～11月頃までに行う。収穫は翌年3月15日頃までに済ませ、すぐに乾季の作物（冬作 *cultivo de inverno* と呼ばれる）であるトウモロコシ、ソルガム、麦などが収穫跡地に輪作される。輪作体系はその年の天候などにあわせて決定されるために多様であるが、大豆→トウモロコシ→ソルガム、大豆→麦といった輪作体系が一般的である。
- 15) これらの作物は、大豆に代わる燃料用の油料作物とし

て有望なのか、大豆の裏作物（乾季に栽培する冬作）として輪作体系に組み込めるのか、といった点が検討されている。

- 16) 大豆生産量が世界第1位のアメリカ合衆国にとって、世界の穀物市場で競合するブラジル産の大豆が燃料用に回されることは、価格面においても好都合である。ブラジルにおけるバイオディーゼル増産の背景には、アメリカ合衆国の農業戦略上の思惑が働いているともいわれる。
- 17) 「法定アマゾン」とは、北部7州（アクレ、アマパ、アマゾナス、バラ、 Rondônia、ロライマ、トカンチンス）に中西部のマットグロッソ州と北東部のマラニョン州のそれぞれ一部を加えた範囲をさす。
- 18) アマゾンでは、1970～1980年代に焼畑による無秩序な牧場開発が進み、「ハンバーガーコネクション」として世界的な批判を浴びた。しかし、その後は国家プロジェクトとしてブラジル中西部で進められたセラード農業開発により、アマゾンの森林破壊と農地開発は終息するものと期待された。しかし、世界的な大豆需要の増大とバイオ燃料ブームの中で、農地はセラード地帯を越えてアマゾンへと侵入し、大規模な農地開発がふたたび熱帯林破壊につながるものが危惧されている。

文 献

- IBGE (2010): *Atlas Nacional do Brasil Milton Santos*. IBGE.
- ジョエル K. ボーン Jr. (2007): 地球の悲鳴 バイオ燃料. ナショナルジオグラフィック, 13 (10), 4-62.
- 小池洋一 (2008): アグリビジネスの成長とアマゾンの森林破壊. 富野幹雄編『グローバル化時代のブラジルの実像と未来』252-269. 行路社.

丸山浩明 (2007): ブラジルの大規模農業開発と環境・社会問題—セラード農業開発の事例—. 小林浩二編『実践地理教育の課題』142-158. ナカニシヤ出版.

丸山浩明 (2011): 世界市場を席卷するブラジルのバイオ燃料. 帝国書院『地理・地図資料 2011年度1学期特別号』7-8. 帝国書院.

日本ブラジル中央協会 (2011): 最近のブラジル政治経済事情—外務省中南米局提供情報その他より—. ブラジル特報, No. 1606, 8.

西島章次 (2004): バイオ燃料エタノールで勢いづくブラジル.

www.rieb.kobe-u.ac.jp/users/nishijima/ww20041115.html (最終閲覧日: 2011年2月4日).

西澤利栄・小池洋一・本郷 豊・山田裕彰 (2005): 『アマゾン—保全と開発—』朝倉書店.

小園 勝 (2007): バイオディーゼル燃料への期待—注目されるブラジル政府の小規模農家支援策—. ラテンアメリカ時報, No. 1381, 20-23.

テラベ・クニユキ (2011): ブラジルと日本のバイオ燃料. <http://www.nipo-brasil.org/tokuho/2011/1105 kt.html> (最終閲覧日: 2012年1月5日).

山下慶洋 (2009): 第二世代バイオ燃料の可能性—食料問題とエネルギー問題の解決に向けて—. 立法と調査, No. 295, 75-87.

付 記

本稿を作成するにあたり、平成23年度科学研究費補助金（基盤研究B, 海外学術調査）「ブラジル・アマゾンにおける低投入持続型農業の環境調和性と内発的發展戦略」（代表者：丸山浩明, 課題番号：23401039）を利用した。

丸山：ブラジルのバイオ燃料生産とその課題



写真1 サンマルティーニョ（2008年7月筆者撮影）
世界最大級のバイオエタノール生産量を誇るウジーナ（近代的製糖工場）。工場周辺には、広大なサトウキビ畑が広がっている。



写真2 プロドゥソージャ（2008年8月筆者撮影）
巨大なトウモロコシ倉庫（中央）と大豆貯蔵用の垂直サイロ（左）。工場周辺には、実験農場が広がっている。



写真3 大豆の搾油機（2008年8月筆者撮影）
1時間に100kgの大豆が搾汁できる。



写真4 バイオディーゼル用作物の実験農場と大豆貯蔵用の垂直サイロ（2008年8月筆者撮影）
手前の作物はベニバナ、その奥はソルゴー。



写真5 給油スタンドの燃料価格表示板（2011年2月 A. Kojima 撮影・提供）



写真6 アマゾンで拡大するデンデヤシ畑（2011年3月筆者撮影）
牧場跡に造成されたヤシ畑。遠景は熱帯林。