

**特集：バイオ燃料****ブラジルにおけるバイオエタノールの生産動向**

清水 純一

**1. 世界のバイオエタノール生産の中でのブラジルの位置付け**

2007年の全世界のバイオエタノール(以下、エタノール)生産量は過去最高の 620 億リットル(暫定値)であった<sup>1</sup>。最大の生産国は米国であり、261 億リットルの生産量で世界生産の 42%を占めている。第 2 位はブラジルの 206 億リットルで 33%のシェアを占め、この 2 カ国で世界生産の 75%をも生産している。ブラジルは 2004 年までは世界最大の生産国であったが近年急激に米国が生産量を増やしたため、2005 年に逆転されている。

しかし、貿易量でみると様相は異なってくる。2006 年の全世界のエタノール輸出量は 78 億リットルであった<sup>2</sup>。2003 年には 38 億リットルであったので、この 3 年間でエタノールの国際市場は 2 倍に拡大したことになる。このうち、ブラジルは 34 億リットルで 43.9%を占め、2 位の中国(10 億リットル、13%)を引き離して圧倒的な 1 位である。米国は世界最大のエタノール生産国であると同時に、急激な内需拡大に生産が追いつかず、27 億リットルを輸入する世界最大の輸入国でもある。このように輸出余力という面からみると、現在世界の需要に応えられる国はブラジルのみと言っても過言ではない。

**2. ブラジルにおけるサトウキビ生産の変遷**

ブラジル産エタノールはサトウキビを原料として生産されている。ただし、同じサトウキビを原料としている他国と異なるのは、砂糖とエタノールを同一の工場で生産している場合が多い点である。ちなみに、ブラジル農務省に登録されている 370 工場のうち 240 工場が砂糖とエタノールを同時に生産している(2007 年 11 月 22 日現在)。各工場では生産する時点での砂糖とエタノールの相対価格を考慮しながらサトウキビの絞り汁を二つの製品の生産に仕向ける割合を決定している<sup>3</sup>。したがって、ブラジルの場合、エタノールの生産・需要動向を考える際には砂糖価格と石油価格の両者を考慮に入れる必要がある。

時系列でサトウキビ生産量の推移をみると、1975 年に 0.9 億トンであったものが 2006 年には 4.6 億トンへと 31 年間で約 5 倍(年率換算 5.3%)に増加している(図 1)。同期間に収穫面積は 196 万 ha から 614 万 ha へと 3.1 倍(年率換算 3.8%増)に、単収は ha 当たり 47 トンから 74 トンへと 1.6 倍(年率換算 1.5%増)に増加している。1975-2006 年間の生産量増加に対する寄与度を計算すると、収穫面積が 69%、単収が 31%という結果になり、収穫面積の拡大が生産量の拡大に大きく貢献したことが

図 1: サトウキビ生産の拡大(1975~2006 年)



出所:ブラジル地理統計院(IBGE)

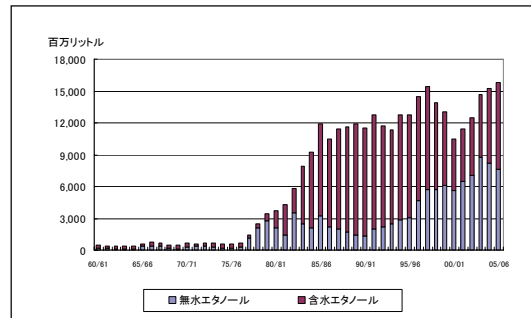
わかる。収穫面積の伸び率は、後に述べる国家アルコール計画でエタノール生産が増加した 1980 年代前半には年率 8.5% という高い伸びを示していたが、それ以降は年率 1% 台の伸びに留まっていた。ところがバイオ燃料ブームが起きた関係で 2000 年以降は年率 4% 以上と高い伸び率が復活している。

地域別の生産量では、2006 年には中・南部 85%、北・北東部 15% と中・南部のシェアが高い。歴史的には最も古くにサトウキビを栽培したのは北東部であったが、サンパウロ州を中心とした中・南部のシェアが徐々に高くなり、1990 年代以降 8 割以上を維持している。最近では中西部、なかでもゴイアス州の生産が伸びている。収穫時期は北・北東部が 9 月から 3 月、中・南部が 5 月から 11 月とブラジル全体でみればほぼ一年中収穫されている。

### 3. エタノール生産の推移と政策<sup>4</sup>

ブラジルのエタノールに関する政策は、ガ

図 2: バイオエタノール生産の推移



出所:ブラジル地理統計院(IBGE)

ソリンへの混入割合の規制を除けば概ね市場原理に委ねられている。現在、ブラジルにおいて砂糖・エタノールは原料のサトウキビを含めて価格・生産量・輸出量の規制はない。

しかし、かつてはブラジルにおいても最も政府の介入が大きかった部門であることも事実である。ブラジルで自動車燃料用としてエタノールを利用する歴史は古く、早くも 1931 年にはガソリンに 5% のエタノールを混入することが義務づけられている。世界大恐慌の影響による砂糖の国際価格の下落から砂糖・エタノール産業を救済することが目的であった。続いて、1933 年に需給調整を目的とする砂糖・アルコール院(IAA)が設立されたことにより政府介入の原型が完成する。本格的に燃料用エタノール需要が拡大したのは 1973 年の第一次石油ショック以降である。石油輸入代金節減のために打ち出されたのが 1975 年の国家アルコール計画である。この計画では自動車用ガソリンの代替として、1985 年に 107 億リットルのエタノール生産を目標とした。これは 10 年間で当時の生産量を 18 倍にするという野心的なものであ

った。100%含水エタノールを燃料として走るアルコール車の開発、価格・税制優遇措置等が功を奏し、エタノール生産は1985/86年度に119億リットルに達し、目標を達成した(図2)。その後もアルコール車に対する需要は増加し、1985年には国内販売された新車(乗用車+小型商用車)のうち実に92%がアルコール車であった。このエタノールの需要増に対応して、1980年代後半に圧搾されたサトウキビのうち、糖度重量(ATR)換算で約7割がエタノール生産用で、残り3割が砂糖生産用であった(図3)。

1980年代半ば以降、いわゆる逆石油ショックで原油価格が下落したことや、アルコール車の信頼性にも疑問が生じるなどして、1990年代には再びガソリン車が主流となり、アルコール車の販売割合は激減し、1997年には0.06%とほとんど壊滅状態になった。

この時期の特徴として、輸入代替工業化から市場経済化へとブラジル全体の経済政策の転換に付随した砂糖・エタノール業界の自由化がある。まず、IAAが1990年に廃止さ

れた。1997年には無水エタノールの価格が自由化されたのに続き、1999年に含水エタノールとサトウキビの価格が自由化された。これにより価格・生産量の統制が完全に廃止され、自由市場となった。

その後1997/1998年度の水準154億リットルを越えられずにいたが、2003年に販売が開始されたフレックス燃料車(FFV)の開発により需要が増大し、生産量が伸びている。

#### 4. エネルギー供給に占めるエタノール

今まで見てきたようなエタノールの生産増がブラジルのエネルギー構成にどのような影響を与えているのであろうか。

ブラジル鉱山動力省『国家エネルギー・バランス』によると、2006年の国内エネルギー供給に占める再生可能燃料の割合は45.1%である。世界平均が12.7%、OECD加盟国平均においては6.2%であるからブラジルのエネルギー供給に占める再生可能エネルギーの割合はかなり高い。再生可能エネルギーの内訳では水力発電14.8%。サトウキビ関連の燃料は14.6%である。

国家アルコール計画が始まった1975年に水力は6.8%、サトウキビは4.6%であった。エネルギー供給における石油依存からの脱却という目的の為の手段として、水力開発と燃料用バイオエタノールが推進されたことを考えると、ブラジルはその目的を達成させたと言える。

#### 5. 輸出動向

ブラジルのエタノール輸出は2004年に

図3: サトウキビ糖度重量(ATR)の仕向割合

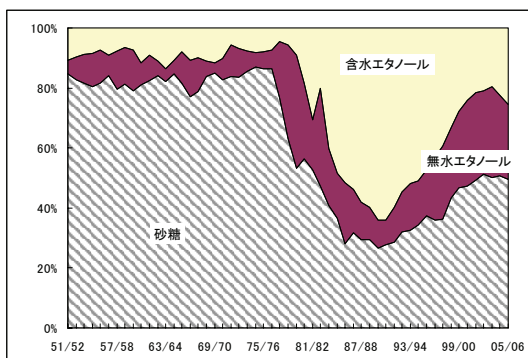


表 1: ブラジルのアルコール輸出(歴年)

| 年    | 量<br>(百万リットル) | 金額<br>(百万ドル) | 平均単価<br>(ドル/千リットル) |
|------|---------------|--------------|--------------------|
| 1989 | 39            | 9            | 294                |
| 1990 | 37            | 7            | 248                |
| 1991 | 9             | 2            | 319                |
| 1992 | 208           | 55           | 335                |
| 1993 | 266           | 78           | 368                |
| 1994 | 293           | 88           | 376                |
| 1995 | 320           | 106          | 417                |
| 1996 | 261           | 95           | 456                |
| 1997 | 147           | 54           | 369                |
| 1998 | 118           | 35           | 301                |
| 1999 | 407           | 65           | 161                |
| 2000 | 227           | 34           | 153                |
| 2001 | 346           | 92           | 266                |
| 2002 | 759           | 169          | 222                |
| 2003 | 656           | 157          | 240                |
| 2004 | 2,321         | 497          | 214                |
| 2005 | 2,592         | 765          | 295                |
| 2006 | 3,429         | 1,605        | 468                |

出所: ブラジル農務省

23 億リットルとなり、前年の 6.6 億リットルから一気に 3.5 倍に輸出量を伸ばし、2006 年には 34 億リットルとこの 3 年間で急激に輸出を拡大した(表 1)。表 2 で 2006 年の輸出先の内訳をみると、最大の輸出国は米国であり、17.7 億リットルを輸出しブラジル総輸出量の過半を占めている。次いでオランダ、3 位が日本である。この表の中にエルサルバドルやジャマイカ等の中米・カリブ海諸国の名前があるのは環カリブ・イニシアティブ(CBI)と関係している。CBI は 1983 年に米国が作った制度でカリブ海諸国との関係を安定的に保つための政治経済の環境作りを狙いとしたものである。CBI の下では原材料のうち 50%以上がその国で生産されたものは無税で米国に輸出できる。エタノールも対象になっており、この枠組みの中でカリブ海諸国はエタノールを米国市場の 7%を上限として輸出できる。

表 2: ブラジルのエタノール輸出先(2006 年)

| 輸出相手国    | エタノール輸出量<br>(百万リットル) |         |         | 構成比<br>% |
|----------|----------------------|---------|---------|----------|
|          | a                    | b       | 総輸出量    |          |
| 米国       | 254.8                | 1,512.3 | 1,767.1 | 51.5     |
| オランダ     | 14.5                 | 332.2   | 346.7   | 10.1     |
| 日本       | 3.0                  | 222.4   | 225.4   | 6.6      |
| スウェーデン   | 13.0                 | 188.9   | 201.9   | 5.9      |
| エルサルバドル  | 0.0                  | 181.1   | 181.1   | 5.3      |
| ジャマイカ    | 0.5                  | 131.0   | 131.6   | 3.8      |
| ベネズエラ    | 25.7                 | 78.9    | 104.6   | 3.1      |
| 韓国       | 0.0                  | 92.3    | 92.3    | 2.7      |
| コスタリカ    | 0.0                  | 91.3    | 91.3    | 2.7      |
| ドミニカ・トバゴ | 8.4                  | 63.2    | 71.6    | 2.1      |
| その他      | 10.9                 | 204.6   | 215.5   | 6.3      |
| 合計       | 330.7                | 3,098.3 | 3,429.0 | 100.0    |

a: 変性エタノール(アルコール分のいかなるを問わない)

b: 変性させていないものでアルコール分が 80%以上のもの

出所: F.O.Licht, "World Ethanol &amp; Biofuels Report, July 23, 2007

つまり、ブラジルからカリブ海諸国に含水エタノールを輸出し、現地で蒸留した無水エタノールを無税で米国へ輸出できる仕組みになっている。

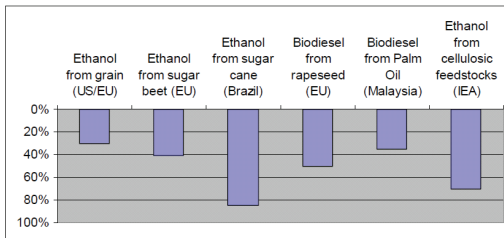
2006 年における米国市場の 7%は 2.7 億ガロン(10.2 億リットル)に相当するが、カリブ海諸国からの輸出は 1.7 億ガロン(6.4 億リットル)と枠内に納まっており、現在 CBI が米国内で特に問題視されている状況ではない。

## 6. ブラジルのバイオエタノールの強み

### (1) コスト

バイオ燃料の使用がどこまで進むかは直接的には原油価格との関係であろう。Agra Europe Weekly (2007 年 9 月 21 日号)に欧州委員会が計算した各バイオ燃料の原油価格に

図 4: バイオ燃料の温室効果ガス削減効果



出所: Doornbosch and Steenblik(2007)

対する採算点が紹介されているのでこれを参考にみてみたい。この記事によれば、EUのバイオディーゼルの場合、原油価格が76ドル/バレルが採算点である。これに対してブラジル産エタノールは35ドル、米国産トウモロコシ由来のエタノールが50ドル、同国産小麦由来エタノールが70ドルという計算になっている。現状の石油価格ではいずれの場合も採算が取れる計算になる。為替レートや計算に使われたサンプル等の制約があるにせよ、ブラジル産エタノールが既存の技術水準ではコスト面で世界で最も競争力がある点は疑いない。

## (2) 温室効果ガス (GHG) 削減効果

(1)はあくまでも製造コストの面からの競争力をみたものであった。地球温暖化の防止という観点から比較するとどうか。一般にバイオ燃料はカーボン・ニュートラルとされているが、バイオ燃料用作物を栽培する際に投入される肥料の製造過程、収穫物の輸送・加工等、バイオ燃料の製造には化石燃料が使用されている。そこで、産出されたエネルギーと投入された化石

表 3: エタノールの生産拡大見通し

|                     | 2006/07 | 2012/13 | 増分      | 伸び率    |
|---------------------|---------|---------|---------|--------|
| エタノール生産 (10 億リットル)  | 17.5    | 35.7    | 18.2    | 104.0% |
| エタノール輸出量 (10 億リットル) | 3.5     | 7       | 3.5     | 100.0% |
| サトウキビ生産 (百万トン)      | 425.6   | 684.7   | 259.1   | 60.9%  |
| サトウキビ収穫面積 (千 ha)    | 5,460.0 | 8,327.0 | 2,867.0 | 52.5%  |
| サトウキビ単収 (トン/ha)     | 77.9    | 82.2    | 4.3     | 5.5%   |

出所: UNICA, 2007. Sugar Cane Industry Outlook より筆者作成。

注: 2006/07 の数字は 2007 年 3 月現在の推定値なので他の統計と数値が異なる場合がある。

エネルギーの比率を計算することにより、温暖化防止の度合いを測ることができる。図 4 は 2007 年 9 月に公表された『OECD 持続的成長に関するラウンドテーブル報告書』<sup>5)</sup>に掲載されているバイオ燃料種類別GHGの化石燃料と比較した場合の削減効果を示したものである。これによると、最もGHG削減効果が高いのがサトウキビ由来のブラジル産エタノールであり、90%まで削減できる。セルロース由来のエタノールは70~90%の削減率。次がビート由来のエタノールやバイオディーゼルの40~50%である。米国やEUのデンプン作物から作られたエタノールが最も削減効果が低い結果になっている。ブラジルの場合サトウキビの絞りかすであるバガス燃料として蒸留に必要なエネルギーをまかなっているので削減効果が大きくなるのに対し、トウモロコシの場合は製造工程でバイオ燃料を用いていないのでこういう結果になる。

### (3) 増産可能性

第三のブラジルの強みは世界で唯一といってよい大規模の農業未開拓地を有していることであろう。ブラジルのエタノール生産が将来どうなるのか。サンパウロ州サトウキビ工業界(UNICA)の見込みでは2012/13年度で生産量357億リットル(2006/07年度の104%増である(表3)。これに必要なサトウキビの収穫面積は53%増(287万ha)の833万haである。単収、糖分、エタノールへの配分比率の上昇等から収穫面積の増加率は生産量の増加率の約半分で済む計算である。

通常ブラジル政府が発表している数字は9,000万haの農地が新規に開拓可能というものである。これは主として牧草地からの転換を念頭においている。これは上記のサトウキビの面積拡大には十分すぎる面積である。ブラジル政府の数値だけでは客観性にかけるので、ここでは米国農務省の数値を紹介したい。

表4の結果では、控え目にみても1億4,500万haの面積が新たに農地として開発可能とされている。ブラジルの見積もりとは時点が違うので現況の農地面積が米国の方が少ない。それを考慮しても、ブラジル側の見方よりも新規開拓の可能性を大きく見積もっている。この面積を加えたブラジルの農地面積は1億8,680万haになり、現在の米国の農地面積に匹敵する。重要なのは、内陸部のセラード地帯だけで8,500~9,500万haの農地面積が転換可能となるとされている部分である。サトウキビ栽培をアマゾン地域で拡大することは環境問題の観点から許されない状況にある。その意味で、この結果はアマゾン地域にかか

表4: ブラジルの農地拡大可能性(百万 ha)

| 地目 | 現況<br>農地 | 農地転換可能面積    |                                |          |             | 合計          |
|----|----------|-------------|--------------------------------|----------|-------------|-------------|
|    |          | 未開発<br>セラード | 牧草地                            | アマ<br>ゾン | 小計          |             |
| 面積 | 42       | 65          | 70<br>~90<br>セラード<br>20<br>~30 | 10       | 145<br>~165 | 187<br>~207 |

出所: 米国農務省(USDA)

注: セラードとは植生区分の一種で中西部を中心にブラジル中央に広がる2億ha以上の広大な土地を指す。1970年代以降開発が進み、日本のODAも重要な役割を果たした。

らないセラードだけで将来必要となるエタノールの増産が可能であることを意味している。ただし、現在、中西部にサトウキビ栽培が大豆に代替する形で広がっており、大豆栽培が北上し、玉突き的にアマゾン地域まで広がることにより、間接的に環境問題を引き起こすことは念頭に置いておかなければならない問題である。

### 7. 今後の見通し

現状ではコスト、GHG削減効果、増産余力のいずれをとってもブラジル産エタノールが世界の中で優位性を持っており、当分は生産を拡大していくことであろう。しかし、セルロース系や海藻類等食料生産と競合しない第2世代エタノール生産の技術開発が進めばブラジルエタノールの優位性は低下する。また、バイオマス燃料だけが代替燃料ではない。燃料電池等の技術革新の動向にも影響を受けることになる。

現在砂糖需給が緩和していることもあり、当分はサトウキビの作付面積が拡大し、エタ



ノール生産に仕向ける割合がさらに上昇することであろう。しかし、上記のような技術革新が起き、燃料用エタノールへの需要が激減した時にはどうなるのであろうか。国際的な砂糖需要の拡大も不透明である。結果として、巨大な過剰設備と作付け拡大による環境破壊が残ったということにならないように注意していく必要があるのではないか。

(しみず・じゅんいち 農林水産省  
農林水産政策研究所 企画広報室企画科長)

<sup>1</sup>F.O.Licht, “World Ethanol and Biofuels Report”, October 23, 2007. これには、燃料用以外のものも含まれている。米

国のエタノール業界団体である再生可能燃料協会 (RFA) によれば、2007 年の燃料用バイオエタノール生産見込みは 497 億リットルである。以後、本稿で使用されるバイオエタノールの統計には燃料用以外のものも含まれている。

<sup>2</sup>F.O.Licht, “World Ethanol and Biofuels Report”, July 23, 2007.

<sup>3</sup>一般的には日本の宮古島でも実証実験が行われているように砂糖を生産した後の廃糖蜜からエタノールを生産している。ブラジルも廃糖蜜を使用しているが 25%程度で残りの 75%は絞り汁からバイオエタノールが生産されている。

<sup>4</sup>エタノールには含水エタノール（濃度 95%）と無水エタノール（濃度 99%）がある。前者はアルコール専用車・フレックス燃料車の燃料、後者はガソリンに混入し、いわゆる「ガソホル車」用燃料になる。

<sup>5</sup>Doornbosch and Steenblik. 2007. *Biofuels: is the cure worse than the disease?*

## ラテンアメリカ参考図書案内②

### 『パラグアイのサバイバル・ゲーム ―世界一親日国の秘話』

船越 博 創土社 187 頁 2007 年 12 月 1,500 円＋税

1988～92 年の 3 年 3 カ月パラグアイにある大使館に在勤した外交官（現在は関西外国語大学教授）の思い出。それまで英語圏での勤務が多かった著者が、初めてラテンアメリカに着任した早々、大使の不在中に昭和天皇の崩御に関わる儀礼に直面する。1954 年のクーデターによる政権奪取以来その座にあるストロエスネル大統領の突然の弔問来訪は、親日国の面目躍如であったが、自らの参列を強く望んでいた大喪の礼直前について 35 年間君臨した独裁者追放の軍事クーデターが起き、大統領一家はブラジルへの亡命を余儀なくされた。

ストロエスネルのそれなりに評価し得る施政と成果、側近たちの腐敗と与党内の権力闘争、クーデターに踏み切ったロドリゲス将軍とストロエスネル家の姻戚を含む長い関係などを踏まえて政変を分析しているが、その背景にあるパラグアイの近代史を見る視座、パラグアイ政府、議会、司法などの各分野に培った自身の人脈など、さすがに現地大使館の次席として第一線での外交活動をしてきた著者ならではの解説であり、大使館の日頃の外交活動の一端を窺うことが出来る。

〔桜井 敏浩〕