

2008年2月

## ブラジルのバイオエタノールに関する覚書

神戸大学経済経営研究所 西島章次

### 要約

近年のブラジルは、資源輸出国として世界的な重要性を高めているが、とりわけ注目に値するのは、地球温暖化で脚光を浴びているバイオエタノールの生産国として世界を主導している点である。ブラジルはサトウキビ由来のエタノールを生産しているが、現在、世界第2位のエタノールの生産国であり、エタノール輸出に関しては圧倒的に世界で最大のシェアを有している。こうしたブラジルのエタノール生産における優位性を議論するとともに、今後の生産拡大におけるいくつかの制約を議論する。

### はじめに

中国を初めとする新興工業諸国の台頭により、世界のエネルギー需要が高まり、その価格が高騰している。また、イラクなど石油供給地域の紛争により、エネルギー供給の不安定性が危惧されている。他方で、地球温暖化に対し、世界的にCO<sub>2</sub>排出削減が叫ばれ、京都議定書では植物由来のバイオマスエネルギーがCO<sub>2</sub>排出にカウントされない(カーボンニュートラル)と規定されたことから、バイオマスエネルギーが着目されている。とくに、バイオマスエネルギーの中でも最も普及しているのがバイオエタノールであり、サトウキビ・トウモロコシ・甜菜などの植物資源を醗酵・蒸留させて生産される再生可能なエネルギーであることから、ガソリンの代替燃料として将来性が期待されている。

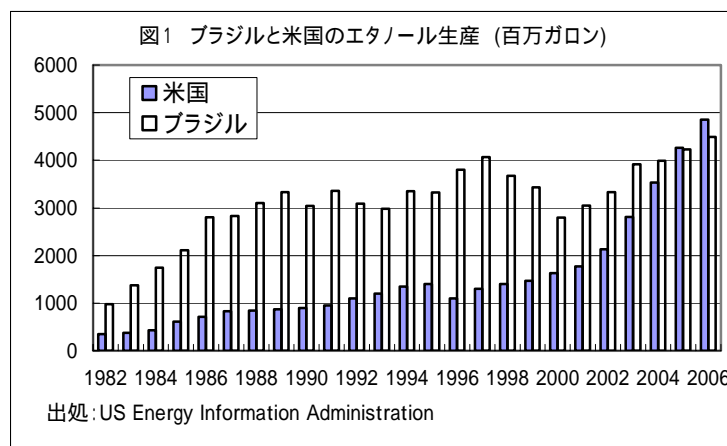
ブラジルはサトウキビ由来のバイオエタノール生産で、世界第2位の生産量と第1位の輸出量を誇るとともに、世界的なエタノール戦略を積極的に展開しており、世界のエタノール市場に大きな影響力を持っている。他方、わが国においても、エネルギー政策や温暖化への対応から、バイオエタノールの普及が重要な課題となりつつある。わが国のエタノール導入に関しては現時点ではその先行きは不透明であるが、本格化することになればその大部分をブラジルからの輸入に依存せざるをえないことから、ブラジルのエタノール産業の動向はわが国にとって極めて重要な意味を有している。

## 第1節 バイオエタノール概論

### 1 世界のエタノール生産と貿易

現在、バイオエタノール(以下エタノール)燃料は、世界の11カ国<sup>1</sup>で導入されており、主としてガソリンにエタノールを混合して使用され、その混合割合に従いE3、E10(それぞれ3%、10%混合)などと呼ばれているが、最も普及しているのはブラジルと米国である。

2006年の世界のエタノールの総生産量は、米国再生燃料協会(Renewable Fuels Association)のデータによると134.69億ガロン(約510億リットル)で、米国とブラジルで世界のエタノール生産の約7割を占め、米国36.0%、ブラジル33.3%、中国7.5%、インド3.7%、フランス1.9%などとなっている。1980年代、90年代はブラジルの生産量が圧倒していたが、近年では米国で急激に生産量を拡大させている。米国ではMTBE(メチル・ターシャリー・ブチル・エーテル)の使用禁止、石油輸入依存引き下げ、農家助成、環境対策などを背景として生産されてきたが、2005年の「エネルギー政策法」によって2012年までに植物由来の燃料使用を75億ガロンにまで拡大することが義務化され、優遇措置によってエタノール生産が奨励されている。このため、トウモロコシを原料とするエタノール生産が急拡大しており、2005年以降は米国が世界最大の生産国となっている(図1)。



一方、エタノール貿易に関しては、2006年時点で輸出を行っているのはブラジル、中国などに過ぎない。米国の研究機関FAPRI(Food and Agricultural Policy Research Institute)の

<sup>1</sup> 2007年11月現在で、ブラジル(E25、E100)、米国(E10、E85)、フランス(E85、ただしETBE混合が普及)、スウェーデン(E5)、中国(E10)、インド(E5)、タイ(E10)、カナダ(E10)、日本(E3)、コロンビア(E10)、豪州(E10)である。

予測によると、今後も輸出供給能力を有しているのはブラジルのみであり、2006年の9億2800万ガロン（約35億リットル）から2016年には12億5500万ガロン（約47.5億リットル）にまで拡大するとされている。輸入に関しては、米国の急激な増産の可能性を考慮しても、今後の傾向的な需要拡大が予想されることから、米国が最大の輸入国であり続けると予測している。2007年3月に中南米5カ国を歴訪中のブッシュ大統領が、ブラジルのルラ大統領と会談し、エタノールの国際基準の設定や、中米・カリブ地域などでのエタノールの生産技術の普及に関する覚書を取り交わしたのも、以上の事情を背景とし、両国の思惑が一致したからである。

表1 エタノールの貿易予想（+は輸出、-は輸入、百万ガロン）

|      | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| ブラジル | 928  | 647  | 719  | 779  | 856  | 940  | 1007 | 1072 | 1137 | 1198 | 1255 |
| 中国   | 42   | 8    | 5    | -8   | -33  | -52  | -72  | -90  | -106 | -121 | -133 |
| EU   | -71  | -124 | -129 | -145 | -154 | -182 | -193 | -205 | -219 | -232 | -244 |
| インド  | -118 | -152 | -147 | -152 | -164 | -171 | -179 | -185 | -189 | -193 | -195 |
| 日本   | -171 | -196 | -209 | -222 | -235 | -246 | -258 | -269 | -281 | -292 | -302 |
| 韓国   | -75  | -84  | -90  | -96  | -103 | -110 | -116 | -123 | -129 | -135 | -142 |
| 米国   | -679 | -237 | -286 | -288 | -295 | -300 | -306 | -311 | -316 | -322 | -327 |
| その他  | 23   | 17   | 15   | 11   | 6    | 1    | -5   | -11  | -18  | -25  | -33  |

出処：FAPRI, The Agricultural Outlook 2007:World Biofuels

日本に関しては、米国に次ぐ第2の輸入国と位置づけられており、2006年の1.71億ガロン（6.5億リットル）から2016年の3.02億ガロン（11.4億リットル）にまで増加すると見積もられている。しかし、この数字は今後の日本でのエタノール導入の進展の程度に大きく依存し、一つの予測に過ぎないというべきであるが、供給先がブラジルに限定されていることは重要な示唆である。

## 2 エタノール生産における諸問題

エタノールを内燃機関のエネルギーとして利用することの利点として、(a)本来、植物は光合成の過程でCO<sub>2</sub>を取り入れ炭水化物を生成することから、植物由来のエネルギーを燃焼してCO<sub>2</sub>排出しても、大気中のCO<sub>2</sub>総量に影響しない（カーボンニュートラル）と考えられること、(b)植物由来であるため、化石燃料とは異なり理論的には枯渇しない資源であること、(c)ガソリンと混合可能であり、また、一定の割合までであれば既存のエンジンで使用可能であることから、ガソリンの代替エネルギーとなりうる、などが挙げられる。

しかし、(a)ガソリンと比較して熱量が約 34%低いこと、(b)エタノールは水との相溶性が高く、水の混入によるエタノールとガソリンの分離を防ぐためのタンク、貯蔵設備などの改善が必要で、コストがかかること、(c)内燃機関のゴム、プラスチックなどの部品を腐食させること、などの問題点を有している。さらに、エタノールを化石燃料の代替エネルギーとして本格的に普及させるには、以下の 2 つの問題を念頭において置く必要がある。

### (1) エネルギーバランスの問題

植物からエタノールを製造するには、その製造過程（農業機械の使用、肥料・農薬の生産と投入、原料の粉碎・圧搾、醗酵、精製、輸送など）で、電力や燃料などのエネルギーを投入しなければならず、どれだけエネルギー源としての効率性を有しているかは、熱量換算でのエネルギーの投入量と産出量の比較であるエネルギーバランスが重要となる。

エタノールの原料として、理論的には全ての植物が可能であるが、ブラジルではサトウキビ、米国ではトウモロコシ、ヨーロッパ諸国では甜菜が主として使用されている。これらの原料のエネルギーバランスを比較すると、サトウキビの優位性が顕著であり、エネルギー生産効率の点で優れているといえる。トウモロコシ由来のエタノールの場合、1 のエネルギーの投入によって得られるのは 1.3 - 1.8 のエネルギーであるが、サトウキビ由来の場合 8.3 のエネルギーが得られるとされる（Macedo et al, 2004）。因みに、甜菜は 1.9、小麦は 1.2、ガソリンは 0.83 である。

また、こうしたエネルギーバランスの相違を反映し、それぞれの温室効果ガス削減の効果を比較すると、トウモロコシなどの穀物は化石燃料と比較して 30%の減であるのに対し、ブラジルでのサトウキビからのエタノールは 85%も削減するとされている<sup>2</sup>（表 2）。

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 穀物からのエタノール (US/EU)    | 30 |
| 甜菜からのエタノール (EU)       | 42 |
| サトウキビからのエタノール (ブラジル)  | 85 |
| 菜種からのバイオジゼル (EU)      | 50 |
| パーム油からのバイオジゼル (マレーシア) | 36 |
| セルロースからのエタノール (IEA)   | 70 |

出処：Doornbosch and Steenblik (2007)

<sup>2</sup> ただし、人力で収穫する場合、刈り取り作業を容易にするためのサトウキビを燃やすのが一般的であるが、この場合、直接的に CO<sub>2</sub> が排出される。

さらに、化石燃料を代替し、CO<sub>2</sub>排出削減に顕著な効果をもたらすためには相当量のエタノールの生産が必要であると考え、農地の制約が重要な問題となる。トン当たりのエタノール抽出量は、サトウキビが85リットル、トウモロコシが390リットルであるが、ヘクタール当りでは、サトウキビが6,500リットルに対しトウモロコシが3,500リットルとなっている(OECD, 2006)。また、1リットルのエタノールを生産する原材料コストは、米国のトウモロコシの場合トン当たり24セントであるのに対し、ブラジルのサトウキビは8セントであるとされる(F.O. Licht, 2006)。今後、世界的にエタノール生産の拡大が必要であるとすると、世界の限られた土地制約や生産コストを考慮すると、ブラジルのサトウキビ由来のエタノールに優位性があるといえる。

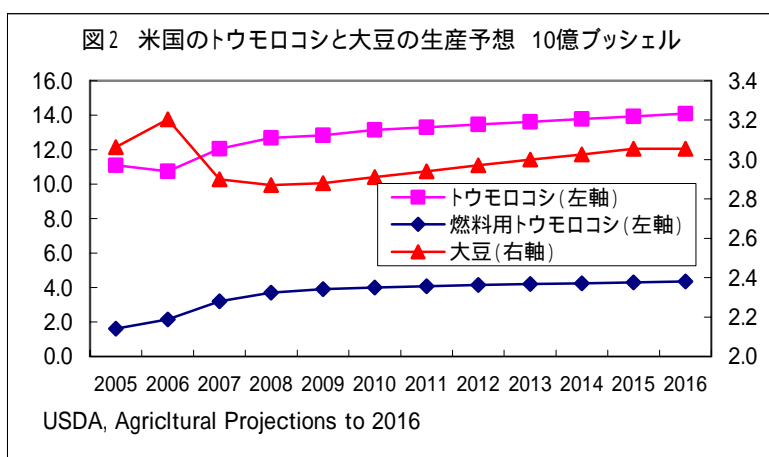
しかし、そもそも食料をエネルギーに代替する考え方自体の正当性に対する批判も多い。ワシントンポストの記事(Washington Post, March 25, 2007)によると、米国で2006年にトウモロコシ用耕地7,000万エーカーの全てでエタノール用のトウモロコシが生産されたとしても、米国のガソリンの12%を代替するだけであり、エタノール生産のライフサイクルを考慮すると米国のエネルギー全体の節約という意味では2.4%の節約となるに過ぎないとされる。こうした問題はバイオジェゼル生産のための大豆生産にも当てはまることであり、食糧生産との競合に注意が必要である。この意味で、食糧以外の作物やセルロース起源のエタノール生産の技術的な発展が望まれる。

## (2) 食料生産との競合

近年、米国ではエタノール生産の急増とともにトウモロコシ・大豆価格が急騰しており、食料供給・食糧価格への影響が懸念されて始めている。2005年時点で、米国で生産されるトウモロコシの約15%がエタノールに使用されているが、今後のエタノール需要の拡大を考慮すると、十分にトウモロコシを増産できるかが鍵となる。需要に生産が追いつかず、トウモロコシの輸出が削減されれば、トウモロコシ飼料の米国からの輸入に依存するわが国にとれば、価格のみならず供給量においても大きな影響を受ける可能性があるが、既に輸入トウモロコシ価格が上昇している。しかも、トウモロコシ作付け農地が大豆の作付け農地と代替関係にあるため、トウモロコシの増産が大豆の減産をもたらせば、やはり米国の大豆輸入に依存するわが国への影響は大きい。

実際、2005年から2007年にかけてのトウモロコシと大豆生産には、明確な代替関係が生じている。USDA(米国農務省)によると、2005年にはトウモロコシ価格の上げ止まりと大

豆価格の上昇が生じ、このため 2006 年にはトウモロコシの生産が低下し、逆に大豆の生産が上昇した。しかし、2007 年にはこれが逆転し、トウモロコシ生産の増加と大豆の急減が生じている（図 2 参照）。2008 年以降に関しては、USDA(2007)によると、トウモロコシ、大豆ともに 2016 年までは緩やかなペースで拡大すると予測している。こうした予測は、トウモロコシ・大豆価格ともに 2009 年まで上昇を続けるが以後は両価格とも安定的に、しかも僅かながら低下傾向をもって推移すると考えているからである。しかし、現実には天候の不順や米国経済自体の景気動向によってこれら農作物の生産や価格は大きく影響を受けると考えるべきであり、単にトレンドを示していると解釈すべきである。また、トウモロコシ生産のうちどの程度がエタノールに使用されるかが重要であるが、ここでは 2009 年には 30%にまで拡大すると想定されている。長期的には、多収量のエタノール向けの品種改良や、セルロース部分のエタノールの生産技術開発が不可欠である。

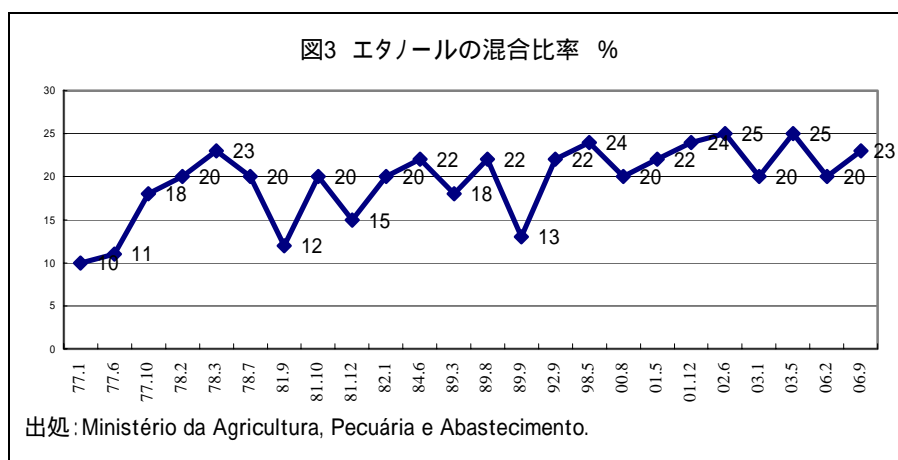


## 第2節 ブラジルのエタノールの現状と課題

### 1 歴史・政策・現状

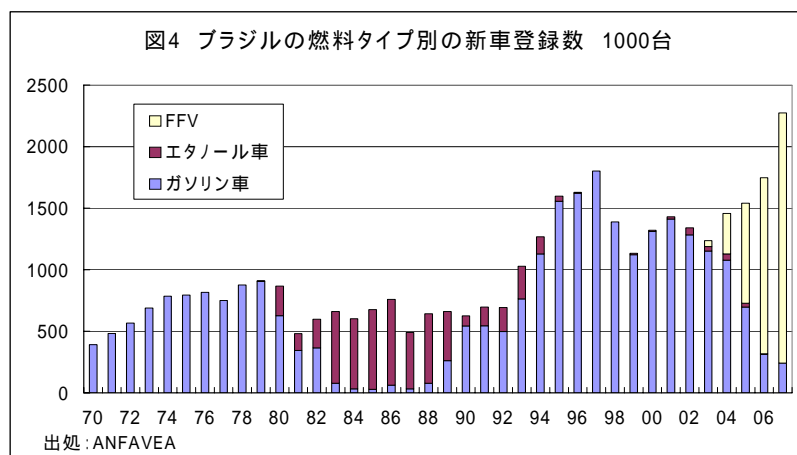
ブラジルでは 1925 年にエタノール混合ガソリンの使用実験がなされるなど、古い歴史を有している。本格的な導入は、第 1 次石油ショックの後、1975 年のプロアルコール計画（Pró-Alcool）からであり、石油の輸入依存度を低め貿易赤字を改善すること、経済開発の促進と雇用機会の創出などを目的として実施された。このため、エタノール生産とエタノール混合ガソリンの市場整備のために、エタノールの生産者価格・買い付け保証や配給制

度が導入され、当初のガソリンへの無水エタノールの混入率は22%と設定された。さらに、第2次石油ショックが生じた1979年には、含水エタノール100%で走行するアルコール自動車の導入が始まり、自動車メーカーにも補助金が投入された。1980年代中頃には、アルコール自動車主流となり、新車販売の9割を占めた。しかし、1990年代に入ると、経済自由化と共に経済政策が改革され、IAA(砂糖アルコール院)の廃止など規制緩和が始まるとともに、エタノール生産へ保護政策が廃止されることとなった。このため、石油価格の傾向的な低下のなかで、エタノールの供給不足の問題が生じ、アルコール自動車離れが急速に進み、90年代に入ると再びガソリン車が主流となった。さらに、1997年には無水エタノール価格自由化、1999年には含水エタノール、サトウキビの価格が自由化され、エタノールの生産や価格は市場に任されることとなった。しかし、政府はガソリンへのエタノール混入政策を継続し、原油輸入の節約とエタノールへの需要確保を続けた(図3参照)。混合比率は1990年代以降は概ね20%から25%の間を推移しているが、その時々エタノールの生産量やガソリン価格などを勘案してその比率を変更してきたと理解される。

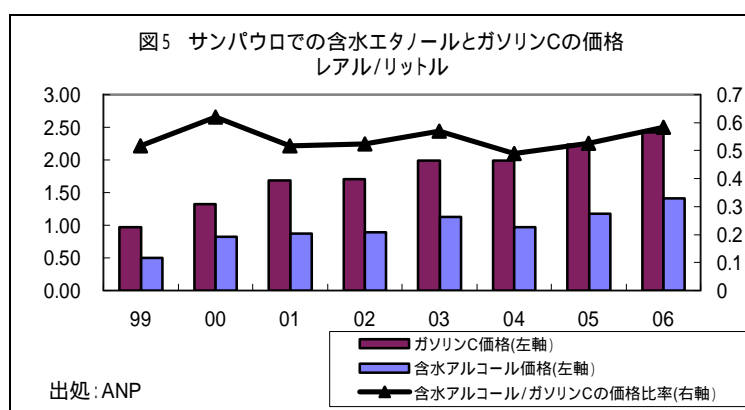


しかし、1990年代後半からガソリン価格が上昇し、再びエタノール価格がガソリンに比べて割安となったこと、2003年より発売されたフレックス燃料車 (FFV: Flex Fuel Vehicle) が普及したことから、エタノール需要が拡大している。フレックス燃料車は、ガソリンとエタノールとをいかなる比率で混合しても走行可能な車で、ユーザーはそれぞれの価格を比較して混合比率を変更できるメリットがある。発売以来、急激に拡大し、2007年末までに465万台が販売され、2007年にはFFVが新車の8割強を占めるにいたっている(図4参照)。現在、ブラジルに進出している自動車メーカー9社(トヨタ、ホンダを含む)が約100

車種の FFV を生産している。



FFV を所有する消費者はスタンドでガソリン価格とエタノール価格（含水エタノール）を比較し、それぞれの給油配分を決めることができる。図5に見られるように、1999年以降は、景気の拡大に従い両価格ともに傾向的に増加しているが、その相対価格はおよそ0.5と0.6の間で推移している。ただし、2004年以降にFFVが普及し始めてからは、含水エタノールの相対価格が上昇傾向にある。

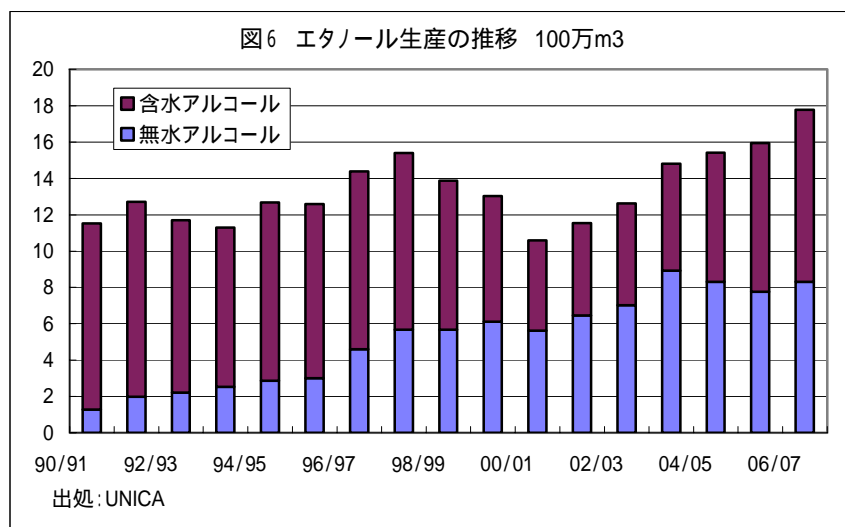


## 2 エタノールの生産動向

現時点のエタノールの生産と利用状況の概略は以下の通りである。生産されたサトウキビのうち、およそ45%が砂糖生産に使用され、このうち66%が輸出、34%が国内消費に向けられている。サトウキビの55%がエタノール生産に使用され、その85%が国内市場に供給され（そのうち90%が燃料、10%が工業原料・飲料など）、15%が輸出されている（そのうち50%が燃料で、残りは工業原料・飲料など）。



ブラジルで生産されるエタノールは含水、無水の 2 種類であり、基本的に無水エタノールはガソリンへの混合に用いられ、含水エタノールはアルコール車、FFV の燃料として使用されている。1990 年代は含水エタノールを 100%燃料とするアルコール自動車が多数現存していたが、エタノールの供給の不安定性や価格上のメリット低減の問題などからアルコール自動車の登録台数が急減し、2000 年には無水エタノールの比率が上回るようになった。しかし、近年は FFV の登場で含水エタノールの比率が拡大している（図 6）。

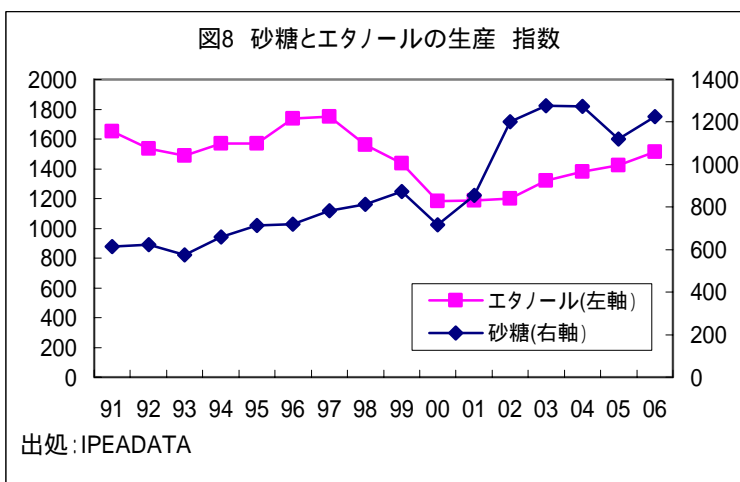
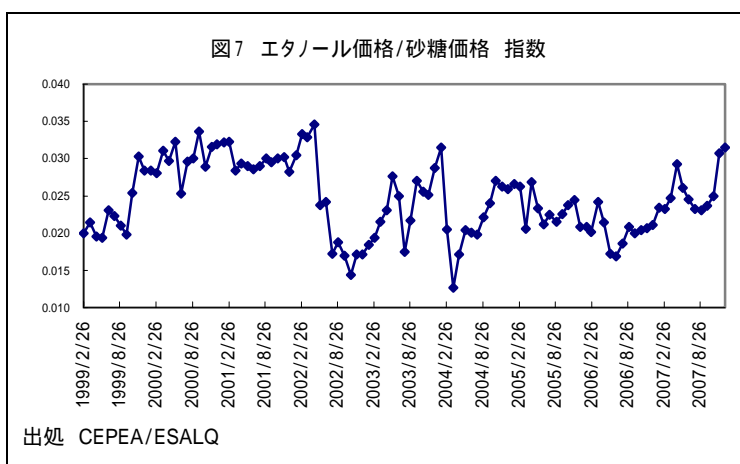


ところで、こうしたエタノールの生産には、古くから砂糖との競合関係が存在している。ブラジルのエタノール工場は、その多くが製造工程の途中でサトウキビの絞り汁を砂糖生産に向けるか、もしくは精糖を分離させたモラセスを発酵させてエタノール生産に向けることができる。砂糖生産の約 3 分の 2 が輸出向けであるため、砂糖生産は砂糖の国際相場や為替レートに敏感であるのに対し、エタノールは 85%が国内で消費されているために国内市場との関係が強いといえるが、生産者は両者の相対価格をベースに、その時々々の作柄なども勘案して生産の配分を決めているとされている。

図 7 は 1999 年から 2007 年における含水エタノール価格と砂糖価格の相対価格指数（含水エタノール価格/砂糖価格）の変動を示している。両者の相対価格は大きく変動していることが理解されるが、2002 年 10 月にエタノール価格が大きく低下するまではエタノール価格が相対的に高い時期が続き、その後大きな変動があるものの砂糖価格が有利な時期が続いたが、傾向としては再びエタノール価格が相対的に高くなりつつある状況を示している。

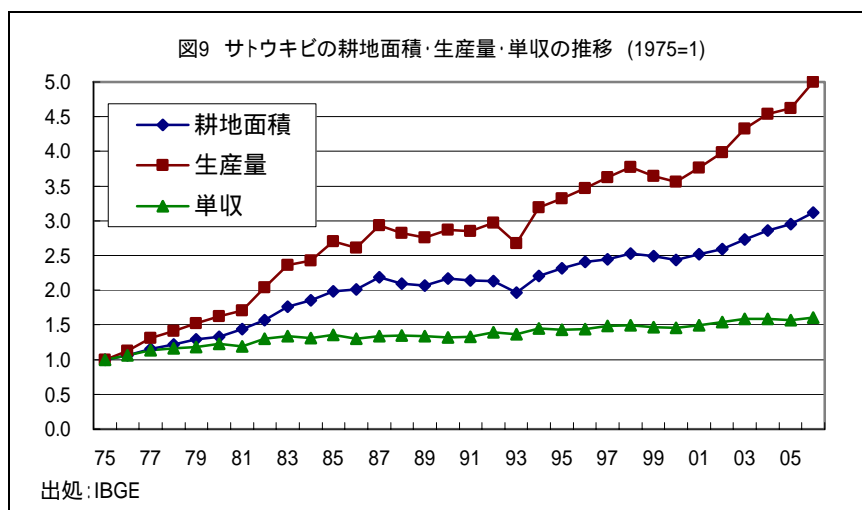
生産者はこうした相対価格をベースに、エタノール生産と砂糖生産へのサトウキビの配分を決定するとされている。

図8は、エタノールと砂糖の1999年以降の生産の推移を示しているが、2000年以降砂糖生産がエタノール生産の増加率より高い率で増加していたことを示している。この増加は図7の相対価格の変動と厳密な関係にあるとはいえないが、ある程度整合的な動きを示しているといえる。したがって、ブラジルではエタノール・ブームであっても市場原理に従い、砂糖生産も着実に生産を拡大しているといえる。しかし、現実には、相対価格だけでは判断できない。それぞれの市況、海外での砂糖価格、為替レート、変動するガソリンへのエタノール混入比率、各地域でのサトウキビ作柄、税金、原油価格など様々な要因で決められていると判断すべきである。また、ブラジルは世界最大の砂糖輸出国であり、むしろプライス・テイカーではなく砂糖の国際相場に大きな影響を与えていることも忘れてはならない。



### 3 サトウキビの生産動向

ブラジルのサトウキビ生産は戦後一貫して拡大を続けてきた。1975年から約30年間で生産量はおよそ5倍に拡大している。世界の砂糖需要の拡大とプロアルコール計画によるエタノール生産の奨励が基本的な背景である。その生産拡大に対して、耕地面積の拡大は3.1倍、土地当たりの単収改善は1.6倍である。それぞれの毎年の平均成長率をとると、生産量の拡大は5.2%、耕地面積の拡大は3.6%、単収改善の改善は1.5%であり、生産量への耕地拡大と単収改善の貢献分は、およそ3.6対1.5であるとみなすことができる。今後のサトウキビ生産の拡大も、新たな耕地面積拡大と単収改善に依存している。



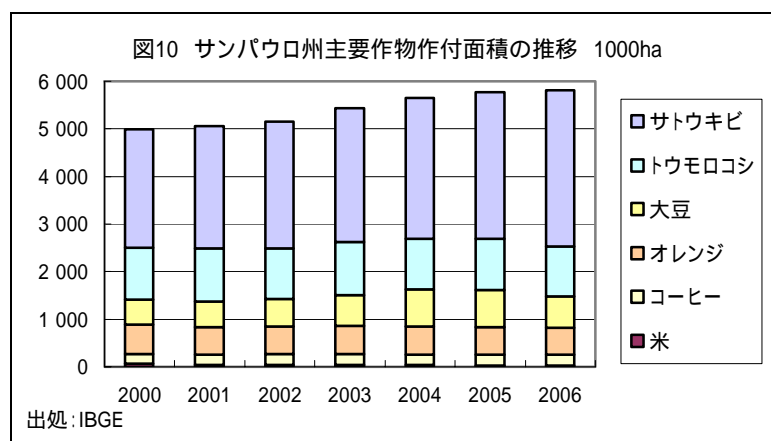
ところで、ブラジルでは30年間で1.6倍の単収の増加がみられたが、米国ではサトウキビ生産の単収は1975年からほとんど変化ない<sup>3</sup>。しかし、2007年の米国の単収はha当たり86トンであり、ブラジルのそれが80トン前後であることから、ブラジルではさらに技術的に改善の余地があるといえる。しかし、ブラジルの単収は図9に見るように2003年以降は停滞しており、新たな品種改良が必要である。しかし、まだその開発にはいたっていないとされる。このため、耕地拡大に頼らざるを得ない現状である。なお、米国のトウモロコシ生産のケースでは、1975-2005年の約30年間で単収の増加は1.75倍であった。

ブラジル国土地理院 (IBGE) によると、ブラジルの2006年現在での農作物の作付面積は、サトウキビ620万ha、大豆2200万haとなっており、いずれも拡大傾向にある。全体の耕

<sup>3</sup> USDA, NASS 資料、[http://www.nass.usda.gov/Statistics\\_by\\_Subject/index.asp](http://www.nass.usda.gov/Statistics_by_Subject/index.asp)

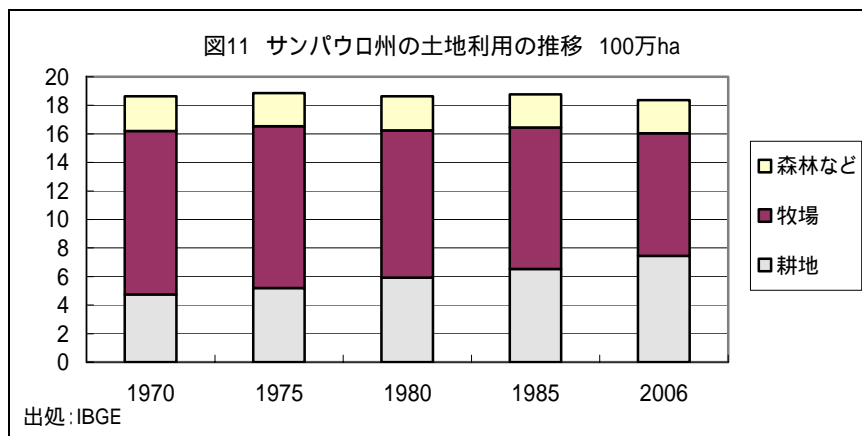
地が 7670 万 ha であることから、それぞれ、7.8%と 26.1%の比率である。ブラジルでの土地利用は、耕地（7670 万 ha）、牧場（1 億 7233 万 ha）、保全のための森林など（9989 万 ha）と分類されているが、これによるとサトウキビと大豆をあわせても、全体の経済的に利用可能な土地 3 億 5487 万 ha の 8.1%に過ぎない。なお、2006 年に実際に作付けされた耕地は約 6010 万 ha であり、サトウキビと大豆はそれぞれ、10.3%と 36.5%を占めている。こうしたデータから、ブラジル農牧供給省ではサトウキビ生産拡大のための耕作可能面積は 9000 万 ha 存在し、生産拡大の余地は大きいとしている。このため、2010 年までにサトウキビ栽培面積を 620 万 ha に加え 200 万 ha の拡大が可能であり、エタノール生産も 1800 万 m<sup>3</sup> に加え 600 万 m<sup>3</sup> の拡大が可能であるとしている

ところで、サトウキビの主な産地はサンパウロ州であり、生産量でブラジルの 60%を超えている。図 10 にあるように、2000 年以降のサンパウロ州では耕地面積が傾向的に拡大しているが、とくにサトウキビ生産の耕作面積自体の拡大が顕著である。こうした耕地の拡大は、新しい耕地の拡大によってまかなわれている部分と、大豆・トウモロコシ・オレンジなどからの転作によって確保した部分とに依存していると考えられるが、図 10 のデータを見る限り、耕作面積を減少させたトウモロコシ、オレンジ、米、綿花の減少分は全体の 2%以内であり、数字上では転作によるサトウキビ耕地の拡大はあまり生じていないといえる。もちろん、転作後、サトウキビに取って代わられた作物が新たな耕地を拡大したケースも存在するであろうが、ここのデータだけではそれは確認できない。



次に、サンパウロ州の農業牧畜用地全体の土地利用の推移を見ると、図 11 に見るように、1970 年代からは総面積としては拡大しているとはいえず、また、相対的に牧草地が減少し、

耕地が拡大している傾向にある。したがって、2000年以降のサトウキビ用耕地の拡大に関しても、以上の基本的な傾向が維持されていると考え、サンパウロ州では新たな開墾ではなく、牧草地からの転作でまかなってきたと推論できる。



ところで、サンパウロ州内では農地価格が傾向的に上昇しており、IEA（農業経済院）によると<sup>4</sup>、サンパウロ州内の農地（Terra de cultura de primeira）価格の平均は、2003年には8,415 レアルであったが、2007年には12,229 レアル、未開墾地では3,354 レアルから6,035 レアル、牧草地では5,019 レアルから8,523 レアルと急増しており、とくにサンパウロ州北東部のリベイロン・プレット、フランカやバウルー地方などで高騰している。このため、サンパウロ州内でのサトウキビ生産の拡大の一つの制約となり得る可能性を有している。

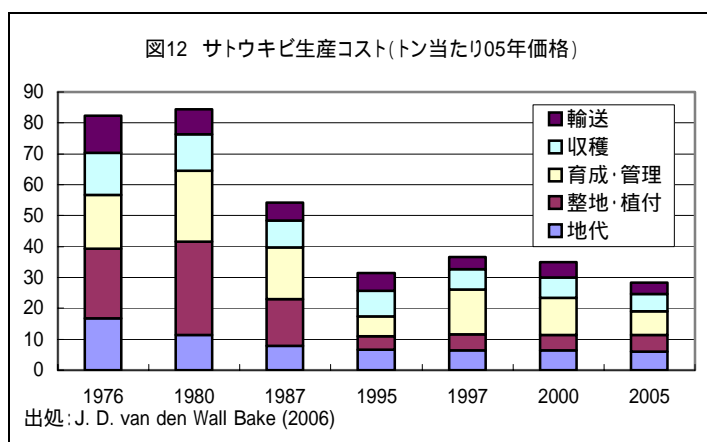
サンパウロ州以外に目を転じると、サンパウロ州に隣接するミナスジェライス州、マットグロッソドスル州、パラナ州や、その他の地域のゴイアス州、アラゴアス州、ペルナンブコ州、マットグロッソ州など、サンパウロ州と比較して農地価格が相対的に低い地域でも拡大が見込まれる。しかし、これら諸州への外延的な拡大は、サトウキビ生産への気候・水利・土壌などの適正や、インフラの問題など、慎重なFSが必要である。また、南西部の諸州では一部の大豆生産が既にアマゾンの南端を侵食しており、転作にしる、開墾にしる、新たな土地でのサトウキビ生産の拡大には、環境面からの制約が存在する。

#### 4 サトウキビ・エタノールの生産コスト

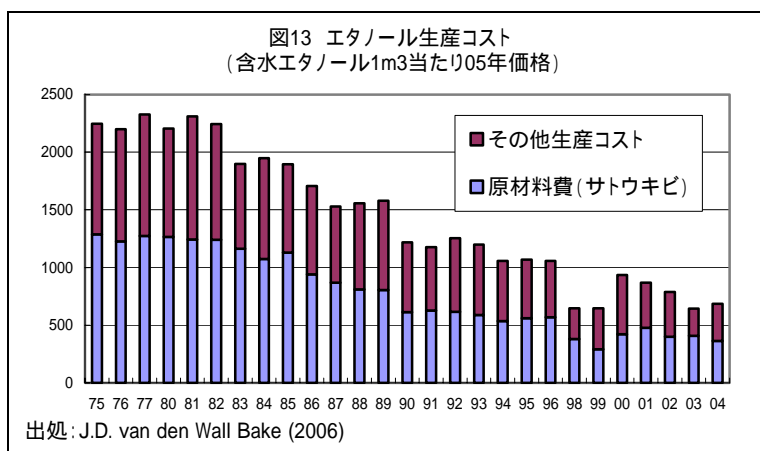
長年のサトウキビ生産の経験とプロアルコール計画によるエネルギー代替政策の経験を

<sup>4</sup> <http://www.ica.sp.gov.br/out/index.php>

有するブラジルは、エタノール生産において高い比較優位を有している。また、こうした経験のなかで生産コストは傾向的な改善を見せている。基本的な要因は、単収の増加、含有糖分の上昇であるが、その他のサトウキビ生産コストに関わるコストも著しく低減している。Wall Bake(2006)はその他のコストを、地代、整地・植付、育成・管理、収穫作業、輸送に分類しており、2005年ではそれぞれ21%、19%、27%、20%、13%であった。1976年からの比較によれば、これらのコストは総額で3分の1にまで低下している。とくに、整地、植付、栽培などの管理のコスト削減が顕著であり、今後も新品種の導入、肥料・農薬の散布、機械化、土壌に応じた品種の採用などの営農技術・知識の改善、副産物の再利用などによって収量の増産と同時に生産コストの削減が課題となっている(図12参照)。



一方、エタノールの生産コストには、原材料費(サトウキビ)が約5から6割を占めているが、残りは、生産工程でのコスト、人件費、投資コスト、税金などで構成されている(図13)。1975年から2004年まで傾向的に低下し、約3分の1のコストとなっている。



今後は、含有糖分、耐病性、早晩性などに優れた品種の開発、DNA 組み換え技術による発酵酵母の育種改善、発酵・蒸留工程での生産性上昇などが課題となる。

ここで特筆すべき点は、ブラジルのエタノール生産工場の多くで、既にトータルのシステムとして副産物の循環利用が進んでいることである。サトウキビを搾汁すると搾りかすであるバガスが出るが、これを燃焼させて蒸気を発生させ、砂糖とエタノール製造工程で利用するとともに、工場内で発電し、工場が必要とされる電力に供給するとともに余剰電力は売電している。また、砂糖の製造工程からできるフィルターケーキはバガスと混ぜ合わせ発酵させた肥料として新植時の肥料として用いられている。エタノール製造工程で発生する廃液であるピナスは液肥として灌漑施設で利用されている。こうした循環システムの一層の普及は、ブラジルのエタノールのコスト上の優位性をより高めると考えられている<sup>5</sup>。

## 5. 雇用効果

サトウキビ・エタノール生産部門は、雇用効果が高く、貧困解消などの社会的インパクトが大きいと考えられている。Smeets et al.(2006)によると、PNAD(家計調査)を用いた推計では、1992年にはサトウキビ部門で約67万人が雇用されたとされる。しかし、サトウキビ部門での雇用は、刈り取りが急激に機械化されているため傾向的な低下にあり、2003年には45万人にまで減少している。他方、サトウキビ生産だけではなく、砂糖生産、エタノール生産を含めると、Smeets et al.(2006)は別のデータベース(RAIS)を用いているが、2002年には77万人が雇用されたとしている。さらに間接的な雇用の創出が94万人あり、また、乗数効果を通じる誘発的な雇用創出が180万人であったとされる。サトウキビ生産は牧畜業と比較して約7倍の雇用創出効果があるとされ、エタノール生産拡大による雇用効果は社会的にも大きな意義を有するといえる。この意味で、今後は、これらの部門で雇用される労働者の労働条件の改善、正規雇用比率の拡大、賃金の安定化、それらのための制度的整備などが課題となる(Brandão, 2007)。

---

<sup>5</sup>農林水産省農林水産技術会議事務局「ブラジルにおけるさとうきびの効率的生産技術に関わる研究動向調査」(海外調査資料47)平成19年2月。

### 第3節 エタノール生産の持続可能性と課題

ブラジルで2005年9月に発表された「国家アグロエネルギー計画（O Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011）」では、バイオマスエネルギーの促進を国家戦略として位置づけており、バイオマスエネルギーに関する研究開発や環境・食糧・社会的公正と統合的な発展と政府の役割に関する指針を定めている。Usina Santa Fe社の資料<sup>6</sup>によると、2005年のエタノール工場数は336であったのが、2006年に20工場、2007年に21工場が建設され、2008年以降には95の工場が建設予定であるとされる。2006/07年のエタノール生産は前年比で15.6%増の186億リットルと見込まれている。年々15%で拡大すれば、2010年/11年には350億リットルに達することになる。こうしたエタノール工場の建設ラッシュは、FFVが好調であること、原油価格が高騰していること、中長期的には輸出需要の拡大が見込まれること、依然としてサトウキビ生産のための農地が存在すること、品種改良や発酵技術などの改善が見込まれることなどを背景に、積極的に投資がなされていることを反映している。エタノール生産への海外から直接投資も拡大傾向にあり、2006年には前年比で6.8%、2007年には同比で9.3%の増加であった。UNICAによると、2013/14年のエタノールの生産予想は表3の通りである。

表3 ブラジルのエタノールの予測

|  | 2006/2007 | 2012/2013 |
|--|-----------|-----------|
| エタノール（10億リットル）                                     | 17.5      | 35.7      |
| エタノール輸出（10億リットル）                                   | 3.5       | 7         |
| サトウキビ（百万トン）  | 425.6     | 684.7     |
| サトウキビ作付面積（1000ha）                                  | 5460.0    | 8327.0    |
| 単収トン/ha  | 77.9      | 82.2      |
| 出処：UNICA, <i>Sugar Cane Industry Outlook, 2007</i> |           |           |

しかし、ブラジルにおける今後のエタノール生産能力と輸出能力の拡大に関しては、短

<sup>6</sup> [http://svc047.wic128dp.server-web.com/images/BNW\\_Presos/D1S1S3\\_LygiaMalzoniRomanach\\_UsinaSantaFeBrazil.pdf](http://svc047.wic128dp.server-web.com/images/BNW_Presos/D1S1S3_LygiaMalzoniRomanach_UsinaSantaFeBrazil.pdf)



期的にも中長期的にもいくつかの留意すべき点が存在する。

### 1 サトウキビ農地拡大の制約

エタノール生産のための耕地はかなりの程度に存在することには相違ないが、耕地を拡大するに従い、地味、気候、輸送費などの点で、より条件の悪い耕地に依存せざるをえなくなる。既に、サンパウロ州ではサトウキビ・ブームにより農地価格や人件費が上昇しており、大手のコザン社 (Cosan) はゴイアス州で新たな3つのプロジェクトによって25%の生産増を計画している。しかし、サンパウロ州から隣接する内陸の諸州や東北部の諸州での耕地拡大には、基本的に農地の適性や輸送コストなどの問題を伴っている。さらに、ゴイアス州、ミナスジェライス州、マットグロッソ州などのセラード地域での新たな農地の開墾は環境問題から制約を受ける可能性も否定できない。

### 2 エタノール供給の不安定性

サトウキビは農作物である以上、天候、病虫害などによる作柄の変動を免れない。このため、エタノールの供給不足のリスクは常に存在する。現に、2005年から2006年にかけてエタノール供給不足が生じ、エタノール価格が急騰した。政府は、ガソリンへの混合率を25%から20%に引き下げることや、エタノールの輸入関税の無税化などの暫定措置をとっている。ブラジルではエタノールの85%が国内で需要されており、政策的にも国内需要が優先される。今後のブラジルでは経済成長とともに自動車保有がさらに加速する(しかもほとんどがFFV)と考えられ、供給不足が生じた場合、輸出が制限される可能性を否定できない。また、現時点ではこうした供給の変動を十分に緩和するだけの備蓄体制が整っているとは言いにくい。

### 3 インフラ・ロジスティックスの制約

エタノールの輸送手段は、道路、鉄道、パイプライン、タンカーであるが、産地から陸上ターミナルまでは主としてタンクローリーによる長距離の陸上輸送に依存している。今後のエタノールの増産に対し、コスト面で競争力を維持するためには、道路整備、パイプライン、貯蔵設備、港湾施設などのインフラ、ロジスティックスの改善が課題である。既存のインフラの改善のみならず、内陸部へのサトウキビ農場や蒸留工場の外延的拡大に対するインフラ整備も必要である。

ペトロプラスの子会社であり石油・ガスの輸送・貯蔵を行っているトランスペトロは、陸上ターミナル、海上ターミナル、タンカー、パイプラインを有し、既に一部のパイプラインでエタノールの輸送を行っているが、輸送コストが低いと考えられるパイプラインでの輸送能力の拡大を計画している。現在計画されているのは、ゴイアス州（セナドールカネード）からサンパウロ州のパウリニア市のペトロプラス社の燃料流通ターミナルを経て、サンセバスチャン市の海上輸送基地までのパイプラインであり、日本の三井物産も事業化調査に参加している。パウリニア市からは既存のパイプラインが存在し、リオデジャネイロまでの輸送を拡大することが可能となるとされている。

#### 4 為替レートの問題

資源輸出の拡大と資本流入は通貨のレアル高をもたらしている。対ドル相場は 2002 年末の 3.5 レアルから 2008 年 2 月の 1.75 レアルまで傾向的に高まっている。こうしたレアル高は、製造業部門の輸出を困難とするのみならず、競争力が高いとされる資源輸出への影響も避けられない。今後、どの程度のレアル高が進行するかは不明であるが、長期的にはエタノールの輸出にも影響すると考えるべきである。

#### 結語

ブラジルは、農地・気候などの恵まれた自然条件と 1975 年以來の国家戦略としてのエタノール生産によって、長年の経験と優位性を持っており、近年の世界的なバイオ燃料への需要拡大の趨勢のなかで、エタノール生産国として主導的な役割を果たそうとしている。しかし、確かにブラジルは今後のエタノールの生産拡大に高い潜在力を有しているといえるが、ブラジルがエタノールの安定した世界への供給国となるにはいくつかの課題が残されている。また、国際的なエタノール市場や備蓄制度が形成されていない状況においては、世界の輸入需要がブラジルの供給能力に依存することには不確実性が存在するといえる。一方で原油価格の高騰、地球温暖化に対するバイオエネルギー需要の拡大、他方で世界的な砂糖需要の拡大を考慮すると、ブラジルで順調にエタノールの生産が拡大したとしても、世界市場でエタノールが不足無く安定供給される保証はない。こうした状況で、わが国がエタノール使用を義務化する場合、ブラジル一国からの供給に全面的に依存する体制にはリスクを伴う。わが国が京都議定書での CO<sub>2</sub> 排出削減の責務を果たすためには、エタノール

ルを含めた実現可能なシナリオを早急に策定すべきである。

## 参考文献

- Brandão, A.S.P., “The Sugar/Ethanol Complex in Brazil: Development and Future,” paper for IFPRI conference on “Global Sugar Market, Policies and Reform Options,” June 1, 2007.
- Doornbosch R. and R. Steenblik, “Biofuels: Is the Cure Worse Than the Disease?” OECD Working Paper, September 12, 2007.
- FAPRI, *The Agricultural Outlook 2007* (<http://www.fapri.org/outlook2007/>).
- F.O.Licht, *World Ethanol Markets, The Outlook to 2015*, 2006
- Macedo, I. C., Leal M. R. L. V. and Silva J. E. A. R., “Assessment of greenhouse gas emissions in the production and use of fuel ethanol in Brazil,” São Paulo State Environment Secretariat, 2004.
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, *O Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011*.
- Moraes, M.A.F.D., “Indicadores do mercado de trabalho do sistema agronômico da cana-de-açúcar do Brasil no período 1992-2005,” *Estudos Econômicos*, vol.37, No.4, Dec 2007.
- OECD, *Agricultural Market Impacts of Future Growth in the Production of Biofuels*, Feb. 2006.
- Smeets E., et al., “Sustainability of Brazilian bio-ethanol” Report NWS-E-2006-110, UNICAMP and Universiteit Utrecht, 2006.
- USDA, *Agricultural Projections to 2016*, Feb. 2007.
- van den Wall Bake, J.D., “Cane as key in Brazilian ethanol industry: Understanding cost reductions through an experience curve approach,” UNICAMP Master Thesis, 2006.
- Washington Post, “Corn Can’t Solve Our Problem,” March 25, 2007.