

バイオエタノール燃料の普及可能性*

水上元、吉田孝平、小山隼汰、小森聡、
遠藤瞳、織笠一輝、深谷朱里

1 本研究の課題と方法

近年、暖冬、ゲリラ豪雨などの異常気象がしばしばニュースとなる。その原因の一つが、地球温暖化である。地球温暖化の元となる二酸化炭素（以下、CO₂）の排出削減のため、各国政府はよりクリーンなエネルギーの利用促進に向けた取り組みを行っている。その一つとして、CO₂の排出抑制に貢献するバイオマス燃料の生産利用促進がある。

バイオマス燃料とは植物や動物の廃棄物など、化石資源を除く有機物から作られる燃料である。その利点は、カーボンニュートラルと言われる特性にある。すなわち、植物は光合成を通じてCO₂を吸収するため、燃料として使用してCO₂を排出しても、大気中のCO₂量は変化しない。ただし、作物の生産や燃料への加工段階でのCO₂排出を考慮すると、果たしてカーボンニュートラルが実現しているのかを疑問視する声もある。

バイオマス燃料に対する懸念として食糧との競合問題がある。例えば、トウモロコシはその原料の一つだが、アフリカでは餓死する人々がいるなかで、貴重な食料であるトウモロコシを燃料に加工することに、反対意見を唱える人も少なくない。また、バイオマス燃料向け作物を生産するために、小麦などの食物を生産していた畑を転作する農家もいる。

世界のバイオマス燃料の生産量は上昇の一途をたどっている。2014年の生産量1277億ℓは10年前の2004年の332億ℓの4倍弱の規模にあたる（REN 2005, 2015）。このバイオマス燃料の8割近くを占めるのがバイオエタノールである。

そこで本研究では、バイオエタノールに焦点を当て、カーボンニュートラルや食糧問題に留意した上で、今後の普及可能性、特にCO₂の大量排出が懸念される途上国での普及可能性を考察する。以下、第2節ではバイオエタノールの生産消費状況を概説する。第3節では、その普及に際して留意すべき2つの問題として、カーボンニュートラルの実態、

* 社会科学総合学術院赤尾健一教授の指導の下に作成された。

食糧問題との関係を取り上げる。第4節は二大生産消費国であるアメリカ合衆国（以下、米国）とブラジルにおける現状と普及政策を紹介し、政策の果たす役割を考察する。第5節は発展途上国におけるバイオエタノールの普及可能性を論じる。はじめに、主要生産消費国である中国とインドの現状と普及政策を紹介する。その上で、これらの国々を含む発展途上国への普及政策を考察する。

2 バイオエタノールの生産と消費

2-1 世界及び国別生産量、消費量の推移

OECD-FAO Agricultural Outlook によれば、世界全体でのエタノール生産量¹⁾は、2000年の3000万kℓから2014年に1億1000万kℓと急速に増加している。2014年の全生産量のうち約80%を燃料用エタノールが占めている。

エタノールの主要生産国は米国とブラジルである。2015年の生産量で米国が49%、ブラジルが25%を占め、この2国で世界の74%のエタノールを生産している。消費量においてもこの2国の占める割合は高く、2015年で米国は全体の47%、ブラジルは26%となっている。

2-2 生産方法と生産技術上の課題

エタノールには合成法と発酵法の2種類の製造法がある。合成法は石油や天然ガスを原料とする工業的製造法である。一方、発酵法は糖やデンプンを発酵させてエタノールを生産する。バイオエタノールは発酵法により製造されるもので、世界のエタノール生産の95%を占める。バイオエタノールは様々な植物から生産され、例えば米国、ブラジルではそれぞれトウモロコシ、サトウキビを主な原料とする。

バイオエタノールの生産方法は原料により少々異なる。サトウキビなどの糖質原料では浸出または圧搾をしてから酵母、またはバクテリアを加え発酵させる。それに熱を加え蒸留、脱水し、濃度99.5%以上の無水エタノールを製造する。トウモロコシなどのデンプン質原料のものは、以上の工程の前に粉碎し、酵素を用いて糖化させる必要がある。したがって生産コストも割高となる。

2-3 主な用途とその割合

バイオエタノールのほとんどがガソリンの代替品または改質剤として作られ、ガソリンと混合し自動車燃料として使用されている。また、直接ガソリンに混ぜずに、イソブデンとの混合物をガソリンに混ぜる ETBE も欧州などでは主流である。

2-4 自動車燃料としての課題

エタノール混合ガソリンは、その使用が想定されていない自動車に使用すると、燃料系部品において腐食や劣化を招く。一般にエタノールに対応していない自動車は5%までの含有が安全とされている。世界では様々な混合比率の上限が定められており、例えば日本ではE3・E10、米国ではE10・E85、ブラジルはE25・E100、フランスやドイツ、スペインではE5・E85・ETBEといった具合である。ここでE〇〇はエタノール混合比を示す。これらの上限はその国の安全性をどこまで重視するか、あるいは後述するフレックス車の普及具合による。例えば米国では全ての自動車がE10に対応できるようになっている。

フレックス車とは、混合比をコンピューターが判断し、エタノール混合比によらず支障なく走る自動車のことである。ブラジルでは新車の9割をフレックス車が占める。熱帯地域に位置するブラジルではE100も利用されている。なお、エタノールには無水エタノールと含水エタノールがあるが、含水エタノールはガソリンと混ぜるとガソリンと分離しやすくなる。このため含水エタノールはE100にのみ使われている。

3 カーボンニュートラルと食糧問題

この節では、バイオエタノールの長所とされるカーボンニュートラルと懸念事項とされる食糧問題について述べる。

3-1 カーボンニュートラル

バイオエタノールがガソリンと比較してどれだけCO₂を削減するかは、その生産から消費までのCO₂排出量を評価するLCA (Life Cycle Assessment) 分析によって調べられている。図1は米国のトウモロコシを原料としたエタノールと、ブラジルのサトウキビを利用したエタノール、そしてガソリンのLCAにおける温室効果ガス（以下、GHG）排出量とその内訳である。トウモロコシ由来エタノールはガソリンに対する削減率が低いのに対し、サトウキビ由来エタノールはGHG排出量を大きく削減できている。このようにサトウキビはカーボンニュートラルの面で優れていることが分かる。トウモロコシ由来エタノールとサトウキビ由来エタノールを比較した文献は他にも多数存在する²⁾が、同様の傾向が見られる。

3-2 食糧問題

バイオエタノールは農産物を転用して生産され、他の作物と土地利用上の競合を生じる。このため食糧問題を引き起こすことが懸念されてきた。この懸念をここで検証する。

2005年に米国で制定された「エネルギー政策法」は、国内での再生可能燃料の使用義

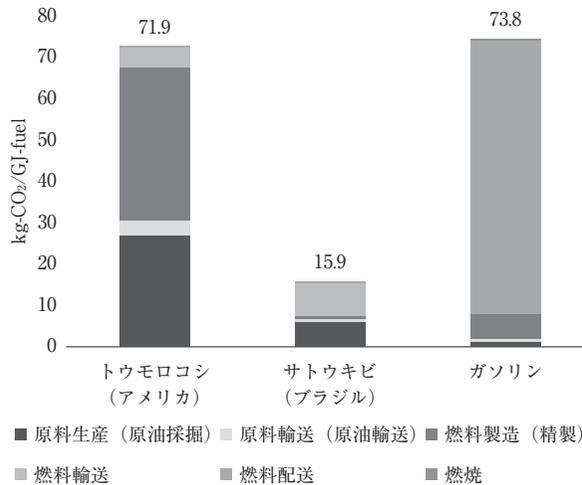


図1 バイオエタノールのGHG排出量比較

注：林・増田・山本（2009）より作成

務を課すものである。これによってバイオエタノール生産が増え、それと時を同じくして、食糧価格が高騰し食糧危機が起こった。すなわち、2006年から2008年にかけて小麦、トウモロコシ、大豆、米などの主要な穀物価格が高騰し、多くの発展途上国が深刻な影響を受けた。なかには暴動にまで発展するところもあった。このため、バイオエタノールの生産が食糧危機を引き起こしたのではないかと考えられた。事実、様々な研究機関がバイオエタノール生産による2006～2008年の食糧価格高騰の影響は価格上昇分の3%から75%であると試算している³⁾。

しかし、図2を見ると、食糧危機後のバイオエタノールの生産は増加傾向にある一方、食糧価格の高騰は起きていない。その生産量と各作物価格の相関係数はいずれも負値となっている。つまり、バイオエタノールの影響は限定的で一時的なものと考えられる。

4 二大生産消費国の動向

本節ではバイオエタノールの主要生産国である米国とブラジルにおける現状と普及政策を紹介し、政策がその普及にどのように影響しているかを分析する。

4-1 米国⁴⁾

(1) 現状

米国はエタノール生産量と消費量のいずれも世界1位である。2013年の生産量は約500億ℓで、これは世界の生産量の57%を占める。また、2009年まではエタノール輸入国だ

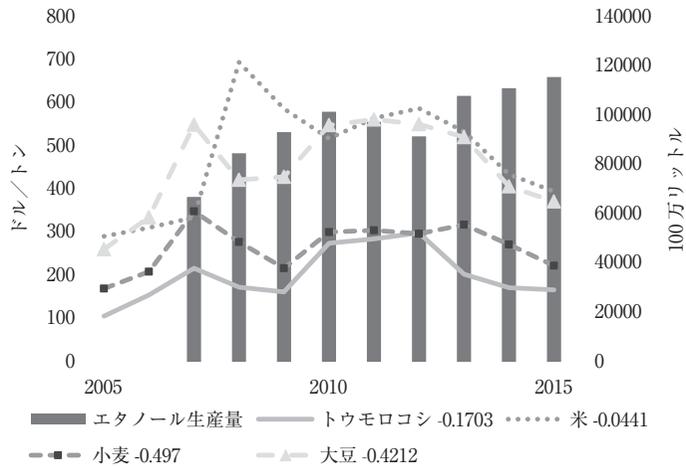


図2 食料価格と世界のエタノール生産量

注：作物名の後の数字は作物価格とエタノール生産量の相関係数を示す。
OECD-FAO Agricultural Outlook より作成

ったが、近年輸出国に転じた。

米国のバイオエタノールは主にトウモロコシから作られ、トウモロコシ生産量の約40%がエタノール生産に使われている。エタノールのほとんどは自動車燃料用である。国内で販売される自動車は全てE10に対応しており、また2001年以降に販売されたモデルはE15まで対応できるようになっている。E15対応車は2011年現在、登録車の62%、2億5420万台に上るが、小売り段階のエタノール給油設備などが追い付いておらず、E15ガソリンが普及しているとは言えない。

エタノールはガソリンの代替財であるため、その生産消費は原油価格の影響を受ける。原油価格は1980年代から90年代を通して長い期間1バレル（42ガロン、約160ℓ）10ドル台で推移し、米国のガソリン価格も1ガロン1ドルほどであった。しかしその後の原油価格の高騰を受け、ガソリン価格は2001～2003年で1.4ドル前後、2005年2.3ドル、さらに2007年には2.8ドルと高騰していった。2006年においてエタノールの生産コストは1.3ドル/ガロンとされているので、これをガソリン価格を超えた2003年頃から生産が拡大していった。

(2) 政策

米国は、1990年「改正大気浄化法」によって、ニューヨークなどの大都市に対して、大気汚染の激しい季節には改質ガソリンを使用することを1992年から義務づけた。エタノールはその改質剤として用いられるようになった。さらに、別の改質剤であるMTBE

が地下水汚染を引き起こすことから、2005年以降、ガソリン改質剤としてのエタノール需要が拡大した。

その後、安全保障の観点から中東など、海外に多くを依存する石油の使用量を減らすことなどを目的に2005年に「エネルギー政策法」が制定された。その中で「再生燃料使用基準量」(Renewable Fuel Standard: RFS)が設けられた。これはガソリンに混入するエタノールを一定量買い取ることをガソリン流通業者=給油会社に義務づけたものである。買取量は2006年の40億ガロンから2012年には75億ガロンまで増加することが定められた。さらに2007年に「エタノール自立・保障法」が制定された。この法律の下でRFSは2008年分が「エネルギー政策法」で定められた54億ガロンから90億ガロンに引き上げられ、2012年は132億ガロンに大幅に引き上げられた。

バイオエタノールを価格面で支える政策も存在する。2005年にできた「容量エタノール物品税控除」(VEETC)によって1ガロン当たり51セントの税額控除が行われてきた。これは輸入エタノールにも適用される。そこで国内製品を守るため輸入エタノールには同額の関税がかけられている。

しかし、この税控除は2011年12月31日をもって廃止されている。また、RFSも2013年11月に見直され、2014年の量を2007年に定められた181.5億ガロンから152.1億ガロンにすると発表された。これはガソリン消費の減少傾向から現在普及しているE10ではRFSの目標を達成できないという判断による下方修正である。このためE15の普及や輸出の増加などが目指されている。

(3) 分析

以上の現状を踏まえ、米国国内のエタノール生産量と価格がどのような要因に強く影響を受けているかを明らかにする。この目的のため、エタノール生産量と価格を被説明変数とし、ガソリン価格、トウモロコシ価格、政策の影響(RFS)を説明変数に取り、2007～2015年をデータ期間として、それぞれ回帰分析を行った。

回帰分析の結果が表1に示されている。エタノール価格はRFSとガソリン価格が有意であり、エタノール生産量はRFSのみが有意である。他の変数が有意でないのは意外であり、これからわかることは、米国のバイオエタノール生産は政策の影響を非常に強く受けていることである。

4-2 ブラジル⁵⁾

(1) 現状

ブラジルは2013年において、世界エタノール生産量の約25%を占め、米国に次いで世界2位の生産量を誇る。ブラジルでは主にサトウキビからエタノールが生産されており、

表 1 米国のエタノール価格と生産量に関する回帰分析

(a) 被説明変数：エタノール生産量						決定係数：0.9330
	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%
切片	17552.31841	10347.89808	1.69622065	0.140772167	-7768.07604	42872.71285
RFS	329.299261	40.98007531	8.035594334	0.000198512	229.024629	429.5738929
トウモロコシ価格	-9.523205254	50.53612693	-0.188443512	0.8567411	-133.1806532	114.1342427
ガソリン価格	-2808.048124	5647.544422	-0.497215766	0.636728923	-16627.0915	11010.99525

(b) 被説明変数：エタノール価格						決定係数：0.8413
	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%
切片	17.38599338	11.4477248	1.518729152	0.17963335	-10.62558009	45.39756685
RFS	-0.124403551	0.045335644	-2.744056102	0.033554862	-0.235335876	-0.013471226
トウモロコシ価格	-0.040255861	0.055907361	-0.720045802	0.498573916	-0.177056245	0.096544524
ガソリン価格	21.26219116	6.247793882	3.403151826	0.01443979	5.974390265	36.54999205

注：データの出所と単位は以下の通りである。

- エタノール生産量 (OECD-FAO Agricultural Outlook : h ℓ)
- エタノール価格 (OECD-FAO Agricultural Outlook : \$/100 ℓ)
- RFS (松山貴代子, 2007 : 億ガロン)
- トウモロコシ価格 (世界経済のネタ帳 : \$/t)
- ガソリン価格 (US. Energy Information Administration HP : \$/ガロン)

砂糖との仕向け割合は 1 : 1 を基準に、その年の砂糖価格などを参考にサトウキビの加工工場で決められる。現在、ブラジルでは 20~27% のガソリンへのエタノール混合義務があり、そのため生産量の約 80% を国内で消費している。

国内のエタノール流通経路は確立されており、サトウキビ加工工場で生産されたエタノールは、配給業者の下でガソリンと混ぜられ、各ガソリンスタンドへ出荷される。ガソリンスタンドは、エタノール混合ガソリンと 100% エタノールを販売していて、消費者は購入時に選択する。エタノールの燃焼効率はガソリンの約 7 割とされているため、エタノール価格がガソリン価格の 7 割より低ければ、消費者はエタノールを選ぶ傾向にある。エタノールの輸送は、鉄道網の整っていないブラジルでは、主に車によって行われる。しかし、生産量・消費量が共に多いサンパウロ付近では、近年パイプラインの敷設が進められている。

(2) 政策

ブラジルのバイオエタノール政策は大きく 1975~1990 年、1990~1996 年、1997 年から現在の 3 つの期間に分けられる。

① 1975~1990 年

ブラジルの燃料エタノールの歴史は古く、1925 年にはエタノール混合ガソリンで車の走行実験が行われた。1931 年に初めてエタノール混合義務 (5%) を定めたが、普及は進まず、その後も燃料の大部分を石油に依存していた。しかし 1973 年の第一次オイルショックによる石油価格高騰を受け、1975 年にプロアルコール政策を実施する。プロアルコール政策とは、石油輸入を抑制し、エタノールの使用拡大を目的とした政策で、次の施策

が講じられた。

- ウジーナと呼ばれる近代的なエタノール加工工場の新設への多額の補助金の交付
- ブラジル石油公社のペトロプラスを通じて、バイオエタノールのガソリンスタンドを全国に設置、更にエタノールの一部販売と流通の独占を承認
- エタノールのみで走るアルコール車の生産奨励と優遇税制を通じた普及促進
- エタノール価格が優位（ガソリン価格の65%）であるように減税の実施

この結果、エタノール生産量は政策の始まった1975年度の5.56億ℓから、1989年度の119.2億ℓへと20倍以上に増加した。またアルコール車の国内シェアは1984年には96%に達した。その後、砂糖価格の上昇や石油価格の下落、年間約8.7億ドルにも上る財政への負担、IMF主導の市場原理主義を背景に、プロアルコール政策は1990年に廃止された。ただし、ブラジルではこの政策により、エタノール普及のためのインフラ整備などの基礎がつけられた。

② 1990～1996年

1985年からの砂糖価格の上昇に伴ってエタノール価格が上昇するなかでプロアルコール政策が廃止されたため、アルコール車は非常に割高な車となった。その結果、1984年には国内シェア96%を誇ったアルコール車を新規に購入する者はいなくなり、その結果シェアは93年には20%まで落ち込んだ（ANFAVEA, 2012）。エタノール消費量の減少を阻止するため、政府は1993年に国内全てのガソリンに22～25%のエタノール混合を義務化する制度を打ち出し、エタノール産業の保護を図った。その結果、10年近く停滞していた生産量が1990年の1.12万kℓから1996年の1.44万kℓまで上昇した。

③ 1997年から現在

その後1997～1999年にかけて、サトウキビの生産割当の解除と無水・含水エタノール価格、サトウキビ価格の自由化が行われ、サトウキビやエタノールへの規制がなくなった。これらの背景には、国際的な砂糖価格の上昇や、IMF主導の市場原理主義が見られる。その最中、2000年に石油価格の上昇が起これ、再びエタノールへの注目が集まった。しかし国民は以前の二の舞になることを恐れ、アルコール車の需要は低かった。

状況が変わるのは2003年で、この年、フレックス車と呼ばれる任意の混合比率の燃料に対して最適な空燃比と点火時期を自動調整して走行できる車が登場した。政府はフレックス車に対して、工業製品税（2%）免除などの減税策で普及を進めた。その結果、2014年には国内で販売された新車の9割以上がフレックス車になった。

フレックス車の販売台数の増加は、エタノール需給にも影響を与え、2015年の生産量は2002年と比べ2倍以上まで伸びた。政府は、エタノール生産の拡大に伴うサトウキビ農地開発によるアマゾン地域の自然破壊を防ぐため、2009年サトウキビ農業生態的ゾーニング制度を施行した。またエタノール不足を防ぐため、生産業者と流通業者に対して、

無水エタノールの調達と貯蔵に関する規則を 2011 年に設定した。

(3) 分析

現在、ブラジル政府によるエタノール産業への規制は、混合比率の操作だけとなっている。混合比率は主に CIMA（砂糖・エタノール関係閣僚審議会）により、サトウキビ・エタノールの生産量などの情報を基に決められる。そこで混合比率はどの要因に影響され決定されるのかを明らかにするため、混合比率を被説明変数とし、砂糖・原油・無水エタノール・含水エタノール価格、生産量、バイオエタノール生産量（表中、b エタノール生産量と表記）を説明変数に取り、2002～2015 年の 13 年（2012 年はデータ欠損のため除外）をデータ期間として回帰分析を行った（表 4 (a)）。

P-値を見ると、砂糖価格が辛うじて 15% 水準で有意だが、それ以外は有意ではないという結果になった。この結果から、近年政策は市場条件に反応していないように見える。更には、政府のエタノールへの干渉はほとんどないと考えられる。この点は次の分析でさらに検証する。

表 4 (b) は、バイオエタノール生産量を被説明変数、混合比率、サトウキビ生産量、砂糖価格、原油価格を説明変数に取った回帰分析の結果を示した。データ期間は、1981～2013 年の 30 年（1990、1991、2012 年はデータ欠損のため除外）である。表に示されているように、唯一サトウキビ生産量が有意である。これはエタノールがサトウキビを原料として作られているため、その生産量の増減に影響されることを示している。しかしサトウキビからは砂糖もまた作られる。しかし砂糖価格、原油価格ともにバイオエタノールの生産量に影響を及ぼしていない。さらに政策の影響も有意ではない。

次に、ブラジル国内のエタノール価格が何により決まるのかを見る。無水・含水エタノール価格を被説明変数とし、混合比率、原油価格、砂糖価格を説明変数に取り、2002～2015 年の 13 年（2012 年はデータ欠損のため除外）をデータ期間として回帰分析を行った。表 4 (c)、(d) に示されているように、無水・含水エタノール価格は、石油価格、砂糖価格に影響を受けている一方、政策の影響は有意ではないことが確認された。

最後にサトウキビ生産量の決定要因を調べる。説明変数には、生産のタイムラグを考慮して前年の砂糖価格、原油価格を選んだ。データ期間は 1981～2013 年の 30 年（1990、1991、2012 年はデータ欠損のため除外）である。表 4 (e) に示されているように、サトウキビ生産量に対して、原油価格は 1% 水準で有意である。一方、砂糖価格は 95% 信頼区間では、砂糖価格が上がるとサトウキビ生産量が落ちる可能性もある。

まとめると、ブラジル政府の混合率の操作はエタノールの生産量や価格に影響を及ぼしておらず、また混合率の操作も市場を反映しているようには見えないことがわかった。エタノールの生産やその原料であるサトウキビの生産は主に市場によって決定されている。

表4 ブラジルのバイオエタノール産業に関する回帰分析

(a) 被説明変数：混合比率							決定係数：0.552
	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	
切片	21.48809986	2.737563808	7.849351238	0.000226067	14.78952254	28.18667719	
砂糖価格	-24.56180791	13.73557734	-1.788188972	0.123963322	-58.17155488	9.047939056	
原油価格	-0.053476319	0.048937355	-1.092750513	0.316424808	-0.173221713	0.066269074	
無水価格	0.164371682	47.72313651	0.003444277	0.997363531	-116.6099366	116.93868	
含水価格	8.672687375	57.871585	0.149860892	0.885785072	-132.9339798	150.2793545	
サトウキビ生産量	2.30507E-08	2.06399E-08	1.116800517	0.306795747	-2.74534E-08	7.35547E-08	
b エタノール生産量	-0.665737709	1.660030922	-0.401039342	0.70228283	-4.727687045	3.396211627	

(b) 被説明変数：バイオエタノール生産量							決定係数：0.935
	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	
切片	3350.916754	4741.658638	0.706697173	0.486289809	-6414.712015	13116.54552	
混合比率	-37.79797688	221.6879987	-0.170500781	0.865988691	-494.3729569	418.7770031	
サトウキビ生産量	3.82561E-05	4.98097E-06	7.680464406	4.90007E-08	2.79976E-05	4.85146E-05	
砂糖価格	-6197.631957	4238.808548	-1.462116509	0.156167202	-14927.62158	2532.357664	
原油価格	-12.12059955	27.814051	-0.435772536	0.666741419	-69.40470989	45.16351079	

(c) 被説明変数：無水エタノール価格							決定係数：0.923
	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	
切片	-0.330905289	0.196551496	-1.683555174	0.126556446	-0.775535664	0.113725087	
混合率	0.010840948	0.007958651	1.362159097	0.206261677	-0.00716277	0.028844667	
原油価格	0.002817113	0.000897909	3.137414179	0.011977799	0.000785901	0.004848325	
砂糖価格	1.095503107	0.209179023	5.237155662	0.000536789	0.622307281	1.568698933	

(d) 被説明変数：含水エタノール価格							決定係数：0.928
	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	
切片	-0.290818659	0.16069846	-1.809716524	0.103781451	-0.654343832	0.072706514	
混合率	0.010133057	0.00650691	1.557276367	0.153831366	-0.004586596	0.02485271	
原油価格	0.002459301	0.000734121	3.349993607	0.00852363	0.000798604	0.004119999	
砂糖価格	0.915115214	0.171022595	5.350843929	0.000461838	0.528235226	1.301995203	

(e) 被説明変数：サトウキビ生産量							決定係数：0.817
	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	
切片	75946755.23	46898647.24	1.619380509	0.116988751	-20281319.25	172174829.7	
砂糖価格	396329424.8	196749172.5	2.014389285	0.054029322	-7366526.769	800025376.3	
原油価格	4702851.531	641375.2872	7.332448918	6.90671E-08	3386858.159	6018844.902	

注：データの出所と単位は以下の通りである。

- 砂糖価格 (World Bank, GEM Commodities : \$ /kg)
- 原油価格 (IMF Primary Commodity Prices : \$ /barrel)
- 無水・含水エタノール価格 (CEPEA ホームページ : \$ /ℓ)
- サトウキビ生産量 (FAOSTAT : t) ※ 2015 は予測値
- 混合比率 (西島章次 (2008)、経済産業省 (2015) : %) ※ 複数データのある年は加重平均による数値
- バイオエタノール生産量 (MAPA (2013) : m³、EIA ホームページ : billion gallon)

5 バイオエタノールの普及可能性

5-1 途上国の動向

本節では、以上の研究を踏まえて、バイオエタノールの世界全体への普及可能性について考察する。初めにその生産量が現在世界第3位、4位の中国とインドのバイオエタノール政策を概観する。これらの国は、GHG 排出国であると同時に、広大な農地を有するこ

とから、バイオエタノールの生産と消費を通じたカーボンオフセットによる GHG 削減効果の可能性が高い国である。

(1) 中国⁶⁾

中国の自動車保有率は、高度経済成長に伴って 1986～2004 年に年平均 11.8% で増加した。この自動車社会の拡大と 2005 年から 2008 年の原油価格暴騰によって、ガソリンの代替財としてバイオエタノールが注目されはじめた。また 90 年代食糧供給が過剰となり、1999 年頃には食糧備蓄量の増加が問題となった。食糧備蓄制度は、補助金によって行われているため、重い財政負担となり、余剰食糧の利用先としてもバイオエタノールが注目された。

中国政府は 2002 年に一部地域で E10 を試験導入し、2015 年現在、30 の都市でその使用を義務化している。2006 年には再生可能エネルギー法を制定し、バイオエタノール生産目標を、2010 年までに 25.3 億 ℓ、2020 年までに 126.6 億 ℓ とした。生産実績は、2014 年時点で 28 億 ℓ である。

普及支援として、税制上の優遇措置や補助金が用いられてきたが、2011 年以降は次第に支援を減じてきた。2015 年に優遇措置を廃止し、2016 年には補助金も廃止予定である。

(2) インド⁷⁾

その急速な経済発展と人口増加によって、インド都市部では大気汚染が深刻化している。インド政府は、大気汚染対策の一環として、また石油の海外依存を軽減するために、バイオエタノールの導入に取り組んでいる。その生産量は 2013 年時点で 20.6 億 ℓ である。

インドにおけるバイオエタノール普及政策は、最終目標を E10 の導入として、2002 年に E5 の導入から始まった。しかし、2003～2004 年の大干ばつによってサトウキビ生産が減少し原料不足のため中断を余儀なくされた。2006 年から E5 の導入を再開している。当初 2007 年に E10 の導入開始を予定していたが、原料となる糖蜜の不足が懸念され、未定となっている。政府はエタノール混合ガソリンに対する物品税の軽減措置を実施しており、エタノール 1 ℓ 当たり 0.3 ルピー（約 0.75 円）が控除される。

5-2 普及可能性と必要な政策

以上のような経済成長著しい発展途上国において、どのような政策の下でバイオエタノールの普及は実現するだろうか。ここでは先進事例である米国とブラジルの政策を対比させて必要な政策を考察する。

バイオエタノール二大生産国の大きな違いは、米国が政策主導でその生産を拡大してい

るのに対して、ブラジルは実質政策の干渉がなく、その生産を市場に任している点である。ブラジルにおいても政策主導でその生産を拡大してきた過去がある。しかし市場条件の変化によってバイオエタノール普及政策が重い財政負担を生み出すと、促進政策（プロアルコール政策）を廃止せざるを得なくなった。つまり、政策主導の普及政策は財政状況に左右されるという点で、不安定かつ経済全体に負担をもたらすものであり、できるだけ早く市場にゆだねることが望ましい。

そのためのカギの一つとなるのはフレックス車の普及である。ブラジルがプロアルコール政策の廃止によってリバウンドを経験したのは、アルコール車がアルコール100%の燃料にのみ対応する車だったためであった。発展途上国もまた自国のバイオエタノールの生産量に応じてエタノール混合比率を調整することになるが、そうした調整を可能にするためにはフレックス車の普及が必要となる。

第2のカギはバイオエタノールの生産コストである。4-2で見たように、エタノールの市場価格はガソリン価格の70%となる。この価格で販売しても利益が出る必要がある。2-2で見たようにトウモロコシ由来エタノールは生産コストがより高くなる。今後炭素税が課せられる場合、3-1で見たようにLCAの観点から、トウモロコシ由来エタノールはさらに不利になる。米国ではバイオエタノール生産量が政策に強く影響されていた。また流通業者は強制的にバイオエタノールを一定量購入させられ、消費者はエタノール混合燃料を強制的に購入させられている。このことは、現状ではトウモロコシ由来エタノールに価格競争力がないことを意味している可能性がある。

以上を踏まえて、バイオエタノールの普及可能性は次のようにまとめられる。

- ① 原料がサトウキビであること
- ② 導入期には政府による優遇措置や補助金によって供給インフラを整備するとともにフレックス車を普及させること
- ③ ②が整備普及されれば速やかに政府の干渉を制限し市場メカニズムに任せること

以上である。

次に、中国、インドでの普及可能性についてであるが、トウモロコシ由来エタノールが中心となる中国では、米国同様の政策主導型となることが予想される。そのような普及は上述のように不安定であり、実際、近年その政策は縮小している。インドは熱帯地域に位置することからサトウキビ由来のブラジル型エタノール生産が可能と考えられる。LCAの結果から、温暖化対策としてもその普及は望ましいと言えるだろう。

注

- 1) エタノールとアルコールは同義であり、本研究では統計データの表記に合わせて使い分けている。また以下に示すようにバイオエタノールはエタノールの95%を占めるため、エタノールとほぼ同義

と見なして分析を行っている。

- 2) 例えば三菱総合研究所 (2015)、久保田 (2008)
- 3) Mitchell (2008)
- 4) 農畜産業振興機構 (2010b, 2012)、NTT DATA Global IT Innovator HP を参考にした。
- 5) 丸山 (2012)、エコロジーエクスプレス (2014)、農林水産省 (2007)、三菱総合研究所 (2015)、西島 (2008)、経済産業省 (2015)、日本貿易振興機構 (2015)、Chatenay (2013)、USDA Foreign Agricultural Service (2014)、Mueller, Anderson, and Wallington (2011) を参考にした。
- 6) 三菱総合研究所 (2015)、環境省 (2006)、林 (2010) を参考にした。
- 7) 農畜産業振興機構 (2010a)、環境省 (2006)、林 (2010) を参考にした。

引用文献

- [1] エコロジーエクスプレス (2014) 『バイオ燃料の最新動向』 (<https://www.ecologyexpress.jp/content/trend/20120629trend.html> アクセス 2016/11/20)
- [2] 環境省 (2006) 「Ⅱ 海外における取組状況」『輸送用エコ燃料の普及拡大について | バイオ燃料』 (https://www.env.go.jp/earth/ondanka/biofuel/materials/rep_h1805/05.pdf アクセス 2016/11/15)
- [3] 久保田宏 (2008) 『バイオ燃料生産の LCA と費用対効果』 (http://www.gef.or.jp/activity/forest/G8forum/15_kubota.pdf アクセス 2016/10/11)
- [4] 経済産業省 (2015) 『平成 26 年度主要エタノール生産国 (ブラジル) における企業動向等に関する調査』 (http://www.meti.go.jp/policy/alcohol/pdf/h26ychousahoukokusho_brazil.pdf アクセス 2016/11/18)
- [5] 世界経済のネタ帳『とうもろこし価格の推移』 (http://ecodb.net/pcp/imf_usd_pmaizmt.html アクセス 2016/12/1)
- [6] 西島章次 (2008) 『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 (<http://www.rieb.kobe-u.ac.jp/users/nishijima/EthanolBrazil2008.3.26.pdf> アクセス 2016/11/9)
- [7] 日本貿易振興機構 (2015) 『ブラジル自動車及び自動車部品産業調査報告書』 (https://www.jetro.go.jp/ext_images/world/reports/2015/pdf/1e0d0375dd6d1248/houkokusyo_rev.pdf アクセス 2016/12/1)
- [8] 農畜産業振興機構 (2012) 『アメリカのトウモロコシをめぐる事情』 (https://www.alic.go.jp/joho-d/joho08_000152.html アクセス 2016/11/20)
- [9] 農畜産業振興機構 (2010a) 『インドの砂糖産業とバイオエネルギー』 (https://sugar.alic.go.jp/japan/fromalic/fa_0708b.html アクセス 2016/12/13)
- [10] 農畜産業振興機構 (2010b) 『米国におけるバイオエタノール政策・需給動向』 (https://sugar.alic.go.jp/japan/view/jv_0610b.html アクセス 2016/11/20)
- [11] 農林水産省 (2007) 『ブラジルにおける砂糖の供給力を規定する要因の分析』 (<http://www.maff.go.jp/primaff/koho/seika/project/pdf/kousyo3-2.pdf> アクセス 2016/11/17)
- [12] 林岳、増田清敬、山本充 (2009) 「第 2 章 LCA 分析による温室効果ガス削減効果の計測」『バイオ燃料導入による諸効果の定量的評価』 農業水産政策研究所 環境プロジェクト研究資料 1 : 25-58 (<http://www.maff.go.jp/primaff/koho/seika/project/pdf/biofuel-2.pdf> アクセス 2016/10/11)
- [13] 林信濃 (2010) 『アジアにおけるバイオ燃料の現状と課題』 2010 年 10 月 1 日日本 LCA 学会講演会資料 (https://pub.iges.or.jp/system/files/publication_documents/pub/presentation/1995/bf_hayashi_201010.pdf アクセス 2016/12/3)
- [14] 松山貴代子 (2007) 『「エネルギー自立及びエネルギー安全保障法」成立』 (http://www.nedodweb.org/report/EnergyIndependence2007_update.pdf アクセス 2016/12/4)
- [15] 丸山浩明 (2012) 「ブラジルのバイオ燃料生産とその課題」立教大学観光学部紀要 14 : 61-73 (https://rikkyo.repo.nii.ac.jp/?action=repository_action_common_download&item_id=6334&item_no=1&attribute_id=18&file_no=1 アクセス 2016/11/25)

- [16] 三菱総合研究所 (2015) 『バイオ燃料に関する諸外国の動向と持続可能性基準の制度運用等に関する調査報告』 (http://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2015fy/000795.pdf アクセス 2016/10/11)
- [17] ANFAVEA (2012) “Brazilian automotive industry yearbook 2012” (<http://www.anfavea.com.br/anuario.html> アクセス 2016/12/3)
- [18] CEPEA ホームページ (<http://www.cepea.esalq.usp.br/en> アクセス 2016/11/20)
- [19] Chatenay, Patrick H. (2013) “Government Support and the Brazilian Sugar Industry,” Paper prepared for the American Sugar Alliance (http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/camaras_setoriais/Acucar_e_alcool/29RO/ASA_gov-support.pdf アクセス 2016/11/20)
- [20] EIA ホームページ (<https://www.eia.gov/> アクセス 2016/10/26)
- [21] FAO ホームページ “FAOSTAT” (<http://www.fao.org/faostat/en/#home> アクセス 2016/12/3)
- [22] IMF ホームページ “IMF Primary Commodity Prices” (<http://www.imf.org/external/np/res/commod/index.aspx> アクセス 2016/11/15)
- [23] Mitchell, Donald (2008) “A Note on Rising Food Prices,” *World Bank Policy Research Working Paper* 4682 (<http://documents.worldbank.org/curated/en/229961468140943023/pdf/WP4682.pdf> アクセス 2016/12/13)
- [24] Mueller, Sherry A., Anderson, James E., and Wallington, Timothy J. (2011) “Impact of biofuel production and other supply and demand factors on food price increases in 2008,” *Biomass and Bioenergy* 35: 1623–1632 (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953411000316> アクセス 2016/11/10)
- [25] MAPA (2013) “Statistical Yearbook of Agrienergy 2012” (http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Desenvolvimento_Sustentavel/Agroenergia/anuario_agroenergia_web_2012.pdf アクセス 2016/12/4)
- [26] NTT DATA Global IT Innovator HP (2014) 『トウモロコシベースのエタノール産業の発展とバイオ燃料政策で厳しい選択を迫られるオバマ政権』 (<http://www.nttdata.com/jp/ja/insights/opinions/2014061901.html> アクセス 2016/11/14)
- [27] OECD-FAO Agricultural Outlook (<http://www.agri-outlook.org/> アクセス 2016/12/11)
- [28] REN21 (2015) 『自然エネルギー世界白書 2015』 (<http://www.iseip.or.jp/wpdm-package/gsr2015ja> アクセス 2016/11/30)
- [29] REN21 (2005) 『自然エネルギー世界白書 2005』 (http://www.ren21.net/Portals/0/documents/activities/gsr/RE2005_Global_Status_Report_Japanese.pdf アクセス 2016/11/30)
- [30] World Bank ホームページ “GEM Commodities” (<http://data.worldbank.org/data-catalog/commodity-price-data> アクセス 2016/12/3)
- [31] USDA Foreign Agricultural Service (2014) “Brazil Biofuels annual,” *Global Agricultural Information Network Report* BR14004 (http://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual_Sao%20Paulo%20ATO_Brazil_7-25-2014.pdf アクセス 2016/11/27)
- [32] US Energy Information Administration HP “Petroleum & Other Liquids” (http://www.eia.gov/dnav/pet/hist/LeafHandler.ashx?n=PET&s=EMM_EPMPR_PTE_NUS_DPG&f=A アクセス 2016/11/21)