

オンラインバイオカフェ「バイオエタノールと私たちの暮らし」

本稿は2020年11月6日に「くらしとバイオプラザ21」(<http://www.life-bio.or.jp/>)で行われたアメリカ穀物協会の講演をもとに「くらしとバイオプラザ21」の佐々義子氏が執筆した報告(<http://www.life-bio.or.jp/topics/topics796.html>)に一部加筆をしたものです。

日本の燃料バイオエタノール政策

2002年、バイオマスニッポン総合戦略が農林水産省で策定され、2012年 E10（エタノール10%を含むガソリン）を利用可能にする関連法が改正されて整備された。バイオエタノールの実証実験として、北海道や沖縄などで生産と利用の実証実験が行われてきた（表1）。原料は、規格外のサトウキビ、コムギ、テンサイ、米などで、バイオエタノール10%混合ガソリン（E10）対応車もそのころから作られている（写真1）。

表1 日本で行われたバイオエタノールの実証実験

■ 主なバイオエタノール実証試験

名称		年度	実施主体	原料
糖質・タンパク質 食品廃棄物	(1) バイオ燃料地域利用モデル実証事業(北海道バイオエタノール)	2007～2011	北海道バイオエタノール株	・規格外小麦 ・てん菜(糖液)
	(2) バイオ燃料地域利用モデル実証事業(オエノンホールディングス)	2007～2011	オエノンホールディングス株	・MA米、多収種米
	(3) 宮古島バイオエタノールプロジェクト	2005～	株りゆうせき	・サトウキビ糖蜜
	(4) みかん搾汁残さを原料としたバイオエタノール効率的製造に関する技術開発	2008～2010	愛媛県	・みかん搾汁残渣
	(5) バイオ燃料地域利用モデル実証事業(JA全農)	2007～2011	JA全農	・多収種米
	(6) 水熱糖化による馬鈴しょ澱粉製造残渣のエタノール変換技術の開発	2008～2010	株竹中工務店	・馬鈴しょ澱粉工場廃棄物
	(7) 食品廃棄物エタノール化リサイクルシステム実験事業	2005～2009	新日鉄エンジニアリング株	・食品廃棄物

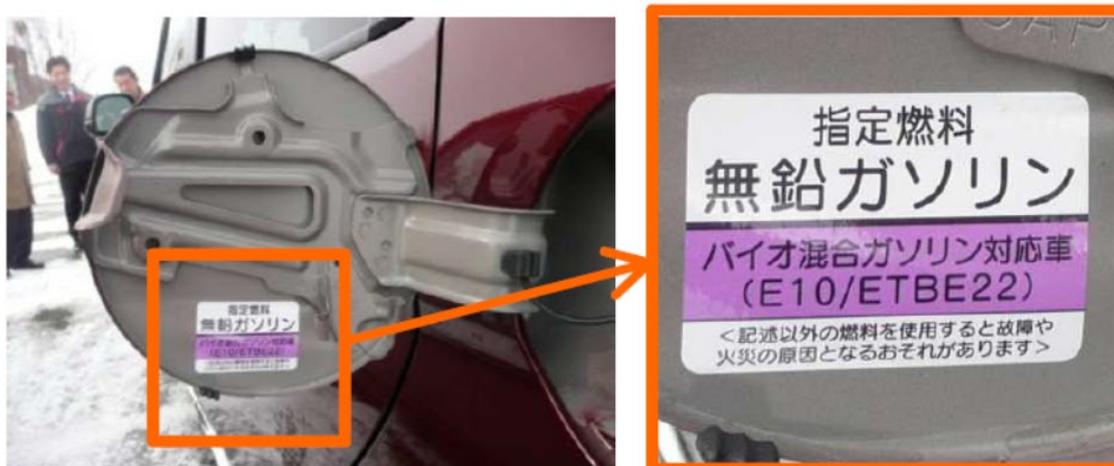


写真1 バイオエタノール10%混合ガソリン（E10）対応車の燃料タンクキャップのステッカー
出典：北海道庁

2015年、パリ協定で気温上昇2度以内にすることが決められ、2019年、大阪G20サミットでは脱炭素社会を今世紀後半に実現することが同意された。また、2020年10月26日には、菅首相も2050年カーボンニュートラルを達成すると宣言した。

2010年、経済産業省資源エネルギー庁は「エネルギー高度化法」で、原油換算50万キロリットルのバイオエタノールの導入を掲げた。これはエタノールにして82.3万キロリットルに相当する。このエネルギー高度化法におけるバイオエタノール導入の目標は2017年にすでに達成され、現時点では2023年までこれを維持しつつ、第二世代のエタノールの開発・利用を目指している（図1）。第一世代のバイオエタノールとはデンプン質を原料とするもので、第二世代では他に利用できないバイオマス（トウモロコシの茎や葉を使うなど、セルロース系）を原料とするものである。

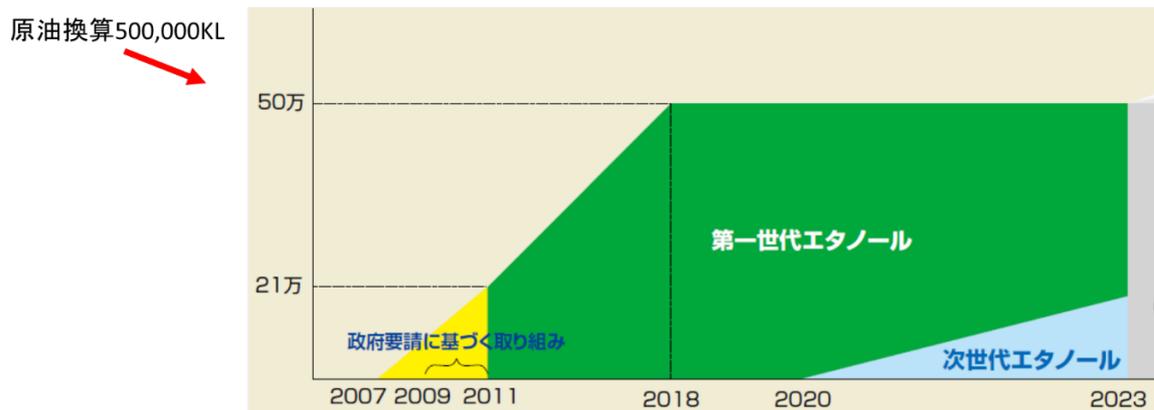


図1 エネルギー高度化法におけるバイオエタノール導入

出典：石油連盟

日本での温室効果ガスの排出の約40%はエネルギー部門、25%が産業部門、17%が運輸部門。運輸部門の温室効果ガス排出削減の一つの方策としてはガソリンへのバイオエタノールの混合利用がある。油田から車を走らせるまでを表す「WELLからWHEELまで」について、エネルギー高度化法では、バイオエタノールによって、温室効果ガスの排出をガソリンと比較して55%削減されるとしている。このバイオエタノールのガソリンへの混合を、ハイブリット車、電気自動車や燃料電池車の導入と合わせて実施することによって、温室効果ガス排出削減の効率を上げていくことが可能である。また、エタノールには燃焼効率を上げるオクタン価向上の効果もあり、ベンゼン、トルエンといった芳香族のオクタン価向上剤の代替にもなる。

日本のバイオエタノールの市場

先ほど述べた通り、ガソリンに混合して利用する燃料用エタノールとして、年間82.3万キロリットルのエタノールがETBEという物質に変換されて使われている（図2）。ETBE（エチル・ターシャリー・ブチル・エーテル）とは、エタノールとイソブテンから合成され、は水と混ざりにくくガソリンに混ぜやすい。

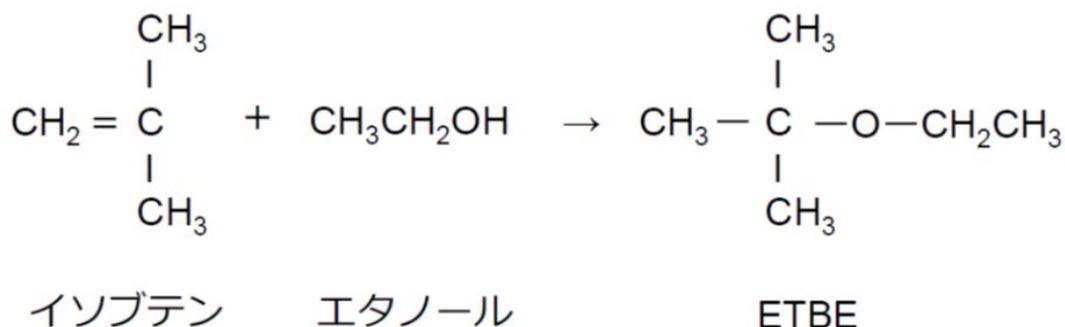


図2 エチル・ターシャリー・ブチル・エーテル (ETBE) の化学構造

ほかに、飲料用アルコールと工業用アルコール（食品、麺類や味噌の保存料としてのアルコール、酢酸の原料（酢の原料）、マウスウォッシュ、手指の除菌、医療用アルコールなど）が使われていて、それらを合わせた需要は年間77万キロリットルである。これはETBEとしての燃料用エタノールの利用量とほぼ同じ量である（表2）。また、表1にあるようにETBE総利用量の約1割にあたる8.86万キロリットルはエタノールとして輸入されていて、国内でETBEに変換されている。このETBEの量は日本でのガソリン全体の平均2%弱に相当していて、すでに私たちはバイオエタノールをこのような形で利用しているということになる。これをさらにE10に高めれば、温室効果ガス排出削減をさらに進めることができる。

表2 飲料用アルコールと工業用アルコールの年間消費量

日本のエタノール年間消費量		2017年	
		消費量（千KL）	全体比（%）
化学製品	ガソリン混合ETBE用	88.6	11.5
	その他	125.7	16.3
日用品	医薬品	40.6	5.3
	その他	73.0	9.5
食品・飲料		92.1	11.9
酒類		234.2	30.4
合計		770.5	100

出典：三菱総研

2020年10月現在、新潟県では、全農が米原料エタノールを3%混合したガソリンを製造販売し、愛知県と大阪府の小売業者が1%のバイオエタノールを混合したガソリンを製造販売している。

世界のバイオエタノールの歴史と利用

1908年のT型フォードはDual燃料といって、ガソリンとエタノールが使える、フレキシブル燃料な車であった（写真2）。禁酒法が終わった1933年には、トウモロコシエタノールが10%添加されたガソリンが売り出されている（写真3）。



写真2 1908年に発売されたT型フォード



写真3 1933年のE10販売ガソリンスタンド
出典：livinghistoryoffarm.com

中東からの原油供給が細ったいわゆる「オイルショック」が1970年前半に起こった（写真4、5）。1975年、ブラジルは石油依存を下げるため、「国家アルコール計画」でサトウキビからエタノールを作り始めた。1980年にはガソリン供給が安定し、バイオエタノールの伸びは頭打ちになるが、2003年、0%から100%までエタノールが入っても対応できるフレックス燃料車が導入されるようになり、需要は再び伸びた。米国では、1990年「大気浄化法」ができた。これがエタノール導入の始まりの法整備となる。2000-2005年、MTBE（メタノールとイソブテンから合成）の発がん性と地下水と上水の汚染が問題になり、2005年から2007年にかけて、エネルギーの自立及び安全保障に関する法律が成立し、その法律に基づく再生可能燃料基準（RFS）の規定の下で、ガソリン消費量の10%相当量の混合が義務づけられた。



写真4 オイルショックでガソリン供給の止まった米国のガソリンスタンド



写真5 オイルショックにより日本で起こったトイレトーパーなどのパニック買い
出典：www.fepec.or.jp

2019年、世界のエタノール生産の半分以上は米国で、次がブラジルで3割強を占める（図3）。ガソリンへの混合による利用状況でみると、欧州ではE5からE10。ドイツ、フランスにはE75もある。ブラジルはE50以上。南米、カナダ、中国、インド、ベトナム、タイ、マラウイでエタノールが導入されている（表3）。

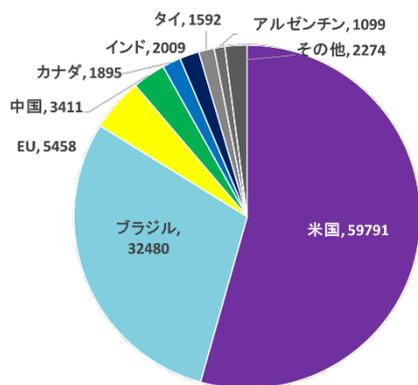


図3 世界のバイオエタノール生産国と生産量 (2019)

表3 世界各国のバイオエタノールのガソリンへの混合状況

国/地域	エタノール導入レベル	政策ゴール
米国	E10 (E15以上も販売)	再生可能燃料基準義務量150億ガロン (5600万KL)
EU	E5、E10 (フランス、ドイツ、ブルガリア、フィンランド、オランダ) E85も販売 (フランス、ドイツ、スウェーデン)	E5再生可能エネルギー指令 (REDII)、E10目標 (ポーランド、アイルランド、スロバキア、イギリス)
ブラジル	全土でE50以上 (E27.5からE100)	E100へのインセンティブ
中南米諸国 (ブラジル以外)	E7.8 (ペルー)、E10 (コロンビア、ジャマイカ、ウルグアイ)、E12 (アルゼンチン)、E25 (パラグアイ)	
カナダ	E5 (州により最大E8.5)	
オーストラリア	州によりE4、E6	
中国	9州でE10	全土でE10を検討
インド	実質E4.1	E10 (2022)、E20 (2030)
東南アジア	E2.5 (ベトナム)、E10 (フィリピン)、E14 (タイ)	E10 (2020年までにベトナム)、E20 (タイ、2020年までにフィリピン)
アフリカ	E5 (スーダン)、E10 (エチオピア、マラウイ)	E10 (モザンビーク、ナイジェリア)、E20目標 (エチオピア、マラウイ)

米国のバイオエタノールの生産工場は、トウモロコシ生産地（コーンベルト）と重なっていて、原料の供給が大きな立地条件であることがわかる（図4）。ガソリンスタンドでの混合率は10%（E10）、15%（E15）、85%（E85）などがあるが、多くは10%。E85はフレックスビークルのみに給油できる（写真6、7）。

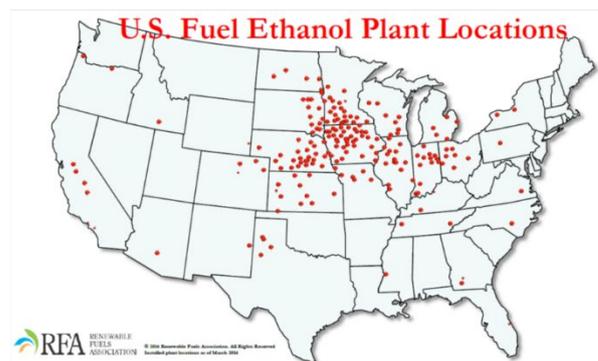
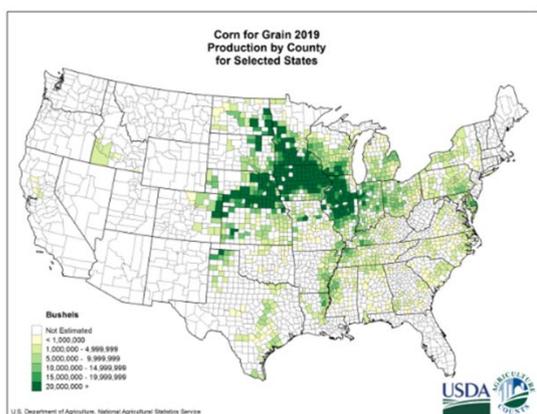


図4 米国コーンベルトとバイオエタノール生産工場の所在地

赤い点が米国でのバイオエタノール生産工場の所在地を示す（右地図）。トウモロコシの主要生産地である中西部に多く分布していることがわかる（左地図）。

出典：再生可能燃料協会、米国農務省



写真6 米国のガソリンスタンドでのエタノール混合ガソリンの紹介



写真7 種々の混合率のエタノール混合ガソリンの紹介：左から85%混合（E85）、非混合、レギュラー、ハイオク、プレミアムの10%混合ガソリン、E85以外のガソリンの数字はオクタン価

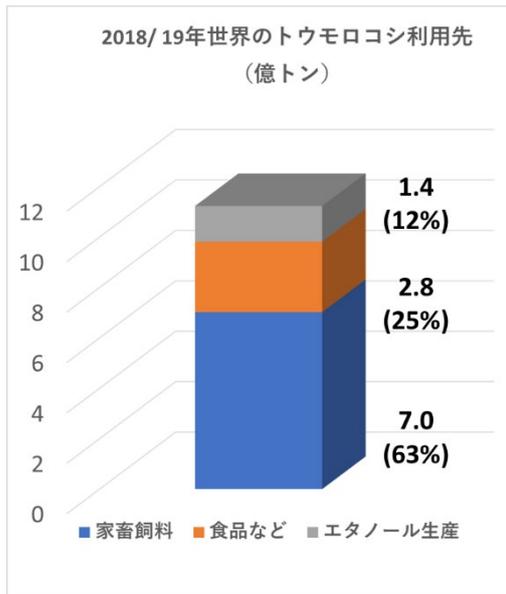


図5 世界のトウモロコシの利用先(2018/19)

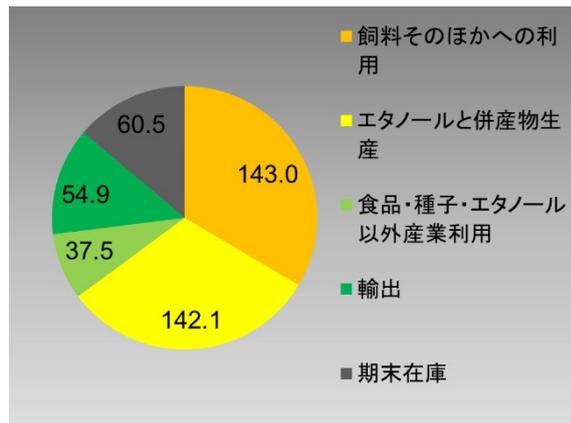


図6 米国産トウモロコシの利用先(2018/19年) 3億2,250万トンの国内総利用量のうち、1億4,210万トンがエタノールと併産物の生産に利用される。 出典：米国農務省

世界全体でのトウモロコシの利用先を見てみると、63%が家畜飼料、25%が食品で、12%のみが燃料となっている（図5）。世界のトウモロコシ約3分の1を生産する米国に限って見てみると、3分の1は飼料、3分の1はエタノールに使われている（図6）。

バイオエタノール原料としてのトウモロコシ

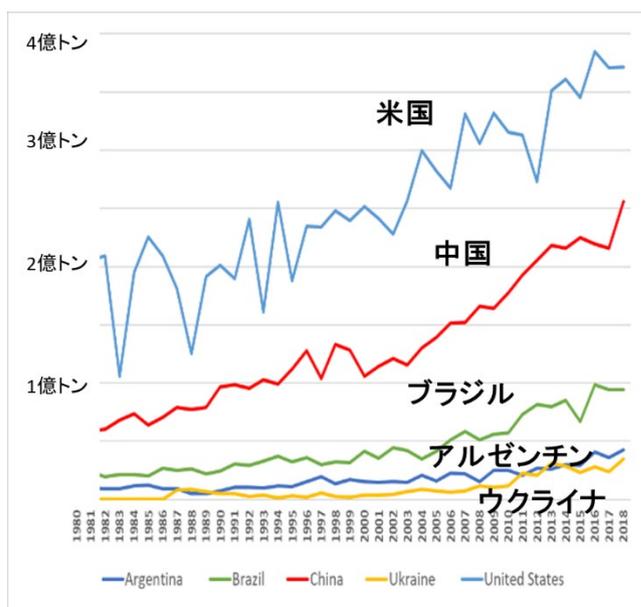


図7 世界のトウモロコシの主要生産国での生産量の推移

世界のトウモロコシの生産は、1位は米国、2位は中国、そのあとブラジルと続くが、この40年で米国では3倍、中国では5倍、ブラジルでも5倍以上に増大している（図7）。米国は輸出もしているが、中国はすべて国内消費されている。トウモロコシからエタノールをつくるには、デンプンを酵素でグルコースにし、酵母でエタノールにする（図8）。デンプン以外のタンパク質や油分などは、併産物として付加価値のある製品となり利用される（図9）。ジステラーズグレイン（タンパク、繊維、ビタミンなど）は家畜飼料に使われ、ジステラーズオイルはバイオ

ディーゼル燃料に使われる。トウモロコシのデンプンは、トウモロコシの3分の2から得られ、これがエタノールと二酸化炭素になり、デンプン以外はジステラーズグレインやジステラーズオイルなどとして使われる（図10）。エタノールをつくる際に出る二酸化炭素はドライアイスにしたり、炭酸飲料に入れたりして利用し、すべて無駄なく使われているのである（写真8）。



図8 トウモロコシ由来エタノール生産の工程

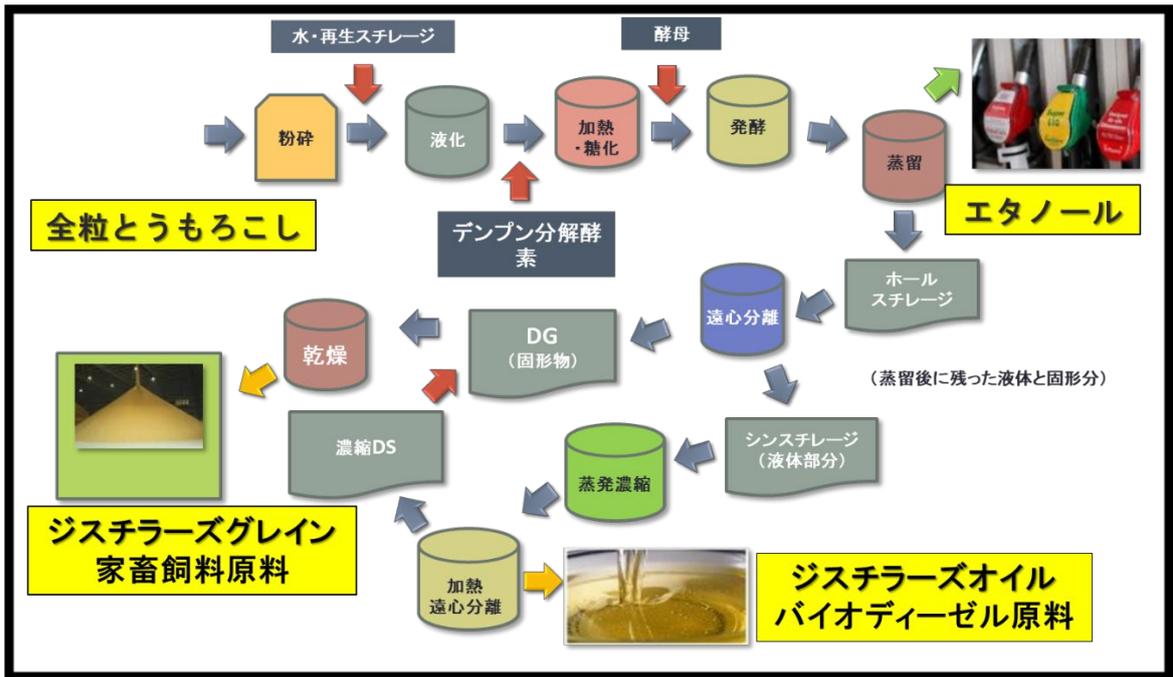


図9 トウモロコシからエタノールと併産物の生産



図10 トウモロコシエタノール発酵の生産物
 発酵時に使われなかったタンパク質、脂肪、ミネラルなどは、併産物として利用される



写真8 エタノールの併産物として生成するCO2を回収するタンク

将来展望

単収の向上、多産地化（栽培の拡大）、供給元の多様化（輸出の拡大）が進み、世界のトウモロコシ生産量は増えている。米国以外にも、ブラジル、中国でもトウモロコシからエタノールが生産され始められていて、中国は E10 を目指している。

トウモロコシから燃料をつくるという、食料にできるもので燃料をつくるのか、という議論が出てくる。バイオ燃料をつくと食料は減るのか。米国でトウモロコシからバイオエタノールが生産され始めた当初の 2000 年代前半はバイオ燃料の生産量が増えるのと比例して穀物価格、商品価格が高騰した。しかし、2008 年のリーマンショック後もバイオ燃料の生産量は増え続けたが、穀物価格は下った。このことから、実は当初食料価格の高騰の「犯人」とされたトウモロコシからのバイオ燃料生産の増加は因果関係が薄いものであったことがわかり、バイオ燃料の生産が直接食料不足に結びつくことはないと考えられる（図 11）。

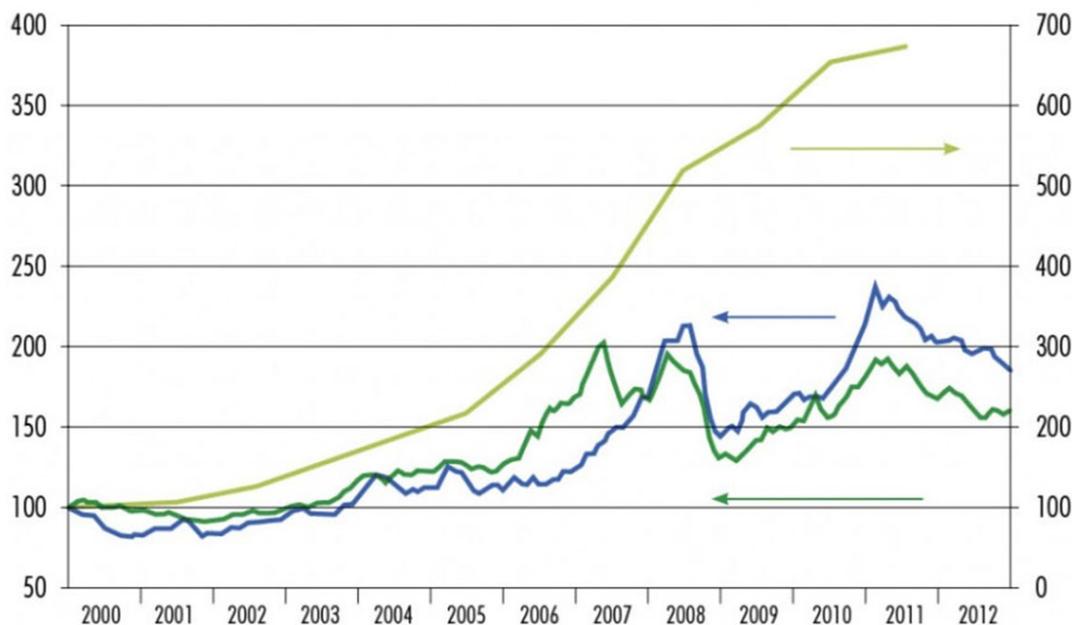


図 11 世界の物価、穀物価格とバイオ燃料の生産量の推移

2000 年の総物価を 100 とした時の穀物価格と総商品価格と、バイオ燃料の生産量の推移を示す。2008 年に食料価格を含め、物価が高騰し、バイオ燃料がその責めを負った。

2005 年から 2008 年のバイオ燃料生産量と穀物価格の間には強い相関関係がある（青ボックス）が、2008 年以降、バイオ燃料の生産量は増加したが穀物価格は低下し、相関関係はほとんどない（赤ボックス）。

反証があるにも関わらず、「食料対燃料」という構図は依然として広く認識されている

また、米国のトウモロコシ作付け面積はこの 70 年間で 50% しか増えていないが、単収は 3 倍になっている。一方、ブラジルのサトウキビでは同じ期間に単収は 2 倍なのに対し、作付け面積は 7 倍になっている（図 12）。このように、トウモロコシ生産は目覚ましい効率化を達成している。

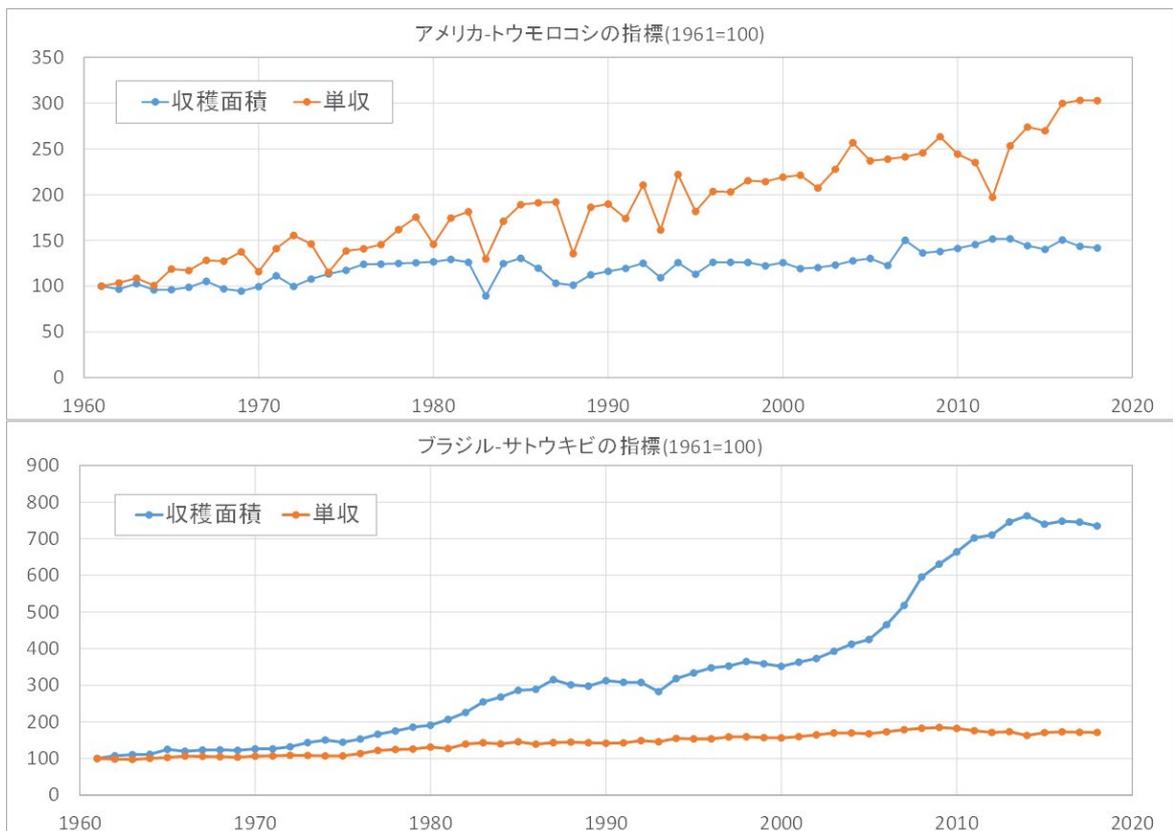


図 12 米国のトウモロコシ及びブラジルのサトウキビ生産における作付面積と単収の推移（1961年の値を100として正規化）

米国のトウモロコシの生産量増大は、栽培面積の増加ではなく単位面積当たりの生産性向上による。

出典：FAOSTAT

このようなトウモロコシの生産効率化は、需要の存在と品種改良の結果とみることができる。トウモロコシに限らず、農産物の生産量を増やすには需要の存在、拡大が重要である。すなわち、利用先が確保、拡大できれば価格が安定する。生産者価格の安定は、生産者にとっての栽培・生産の、種子の販売者にはさらなる品種改良の動機付けになる。トウモロコシでの上述の生産量増加と生産の効率化は、まさにそれが起こった結果である。

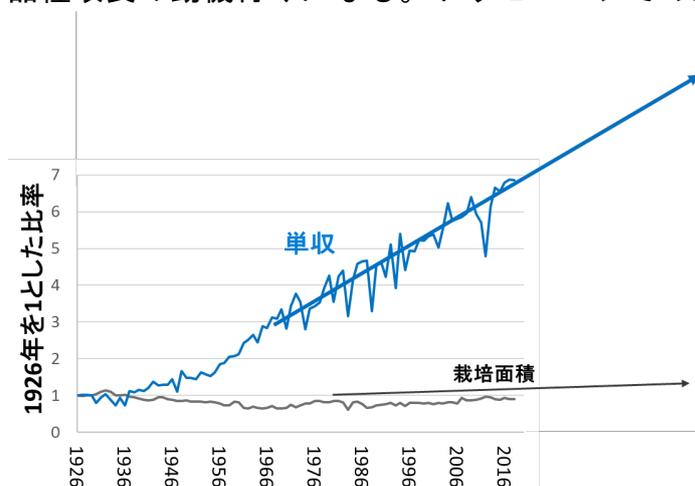


図 13 将来の米国トウモロコシ生産トレンド

将来のトウモロコシ市場について、米国の場合、E10 から E15 に利用が増大すればバイオエタノール用トウモロコシの需要が1.5倍に増えるが、これまでの生産量の増大を将来に外挿する「トレンドライン」から、この需要の増加をインセンティブとして生産量の増大によって満たすことができることがわかる（図 13）。

このように、食料・飼料・燃料を問わず、需要の拡大がトウモロコシの生産量増加に重要で、トウモロコシの生産量増加は食糧や家畜飼料としての供給量増加も意味している。

ここで、日本でのバイオエタノール生産について振り返ってみたい（図 14）。たとえば、以前に実施された農林水産用の実証プラントは年産 1.5 万キロリットルで、その製造コストは 200 円/リットルであった。アメリカ穀物協会の年産 20 万キロリットルのプラントでのコストは 70~80 円/リットルとなった。この違いは、原料を国内産のみに限らず輸入トウモロコシを利用することによって原料コストを下げること、製造規模拡大によって人件費と運転経費を下げること、ジスチラーズグレインなどの併産物の販売を行うことによって生じている。このリットル当たり 70 円という価格は、現在のバイオエタノール輸入価格とも競争力のあるものである。消費税、マージンを入れたレギュラーガソリンは 120-160 円であり、現行のガソリン税、石油税の免除が維持されれば、70 円のエタノールを使って E10 にすることによっての価格上昇はほぼなくなり、ガソリン価格次第ではレギュラーガソリンより安くなる可能性もある。

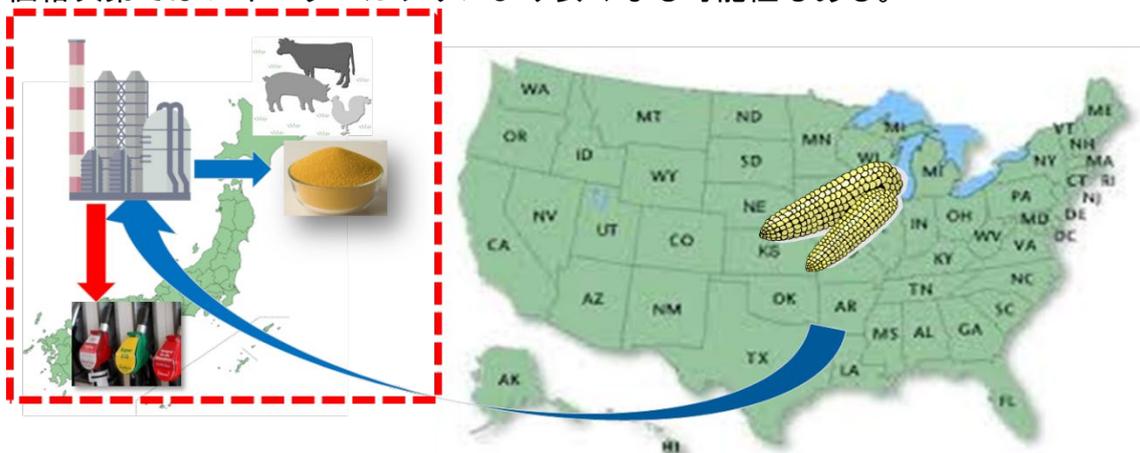


図 14 日本でのエタノール・飼料原料生産地場農産物と輸入トウモロコシの並行利用
エタノール生産と同時に家畜飼料原料となる併産物（DDGS）が生産されるほか、地域活性化・過疎対策にもなる。農水省実証プラント（1.5 万 KL）での製造コストは 200 円/リットルであったが、アメリカ穀物協会の試算（20 万 KL 規模）では 70~80 円/リットル（≒輸入価格）であった。この差は、原料コストや製造規模による人件費・運転経費の相対的軽減や DDGS の販売収益などによって生じる。

このように、バイオエタノールの利用は、運輸部門での温室効果ガス排出削減の一つのツールとして世界各地で進んでいる。日本においても、既存のガソリン自動車の燃料としての環境面の観点のみならず、84%を中東に依存する原油由来の液体燃料の代替によるエネルギー安全保障、国産エタノール生産による過疎地対策の一環として、バイオエタノールのさらなる利用を進めていくことが重要であると考えられる。