

## バイオ燃料 救世主、それとも悪魔？

NATIONAL GEOGRAPHIC 2007/10月号から

### 略

地球温暖化防止の観点から、作物が成長する過程で大気中から取り込んだ二酸化炭素をまた大気中に排出するから、大気中の二酸化炭素濃度は変わらないとして、いまバイオ燃料が注目されている。

ここで重要なのは、このカーボンニュートラルの考え方はあくまでも「理論上」の話だという点だ。米国のバイオ燃料は現状だと、農家や農業関連の巨大企業には大きな利益をもたらしても、環境にはあまり良い影響を与えない。トウモロコシの栽培には大量の除草剤と窒素肥料が使われるし、土壌の侵食を起こしやすい。しかも、エタノールを生産する工程で、得られたエタノールで代謝できるのと大差ない量の化石燃料が必要になる。大豆を原料とするバイオディーゼル燃料のエネルギー効率も、それより少しましな程度だ。また、米国では土壌と野生生物の保全のために畑の周辺の土地約 1400 万 ha が休閑地になっているが、バイオ燃料ブームでトウモロコシと大豆の価格が上がれば、この休閑地までも耕作され、土壌に蓄積されている CO<sub>2</sub> が大気中に放出されるのではないかと環境保護派は懸念している。

すでに、トウモロコシはここ何年来の最高値をつけ、米国の作付面積は、戦後最大規模にまで広がっている。収穫されたトウモロコシの約 2 割(5 年前の 2 倍以上)がエタノール生産に回されている。

国産の作物でまかなえる量には限りがあるが、それでもバイオ燃料に寄せられる期待は大きい。ブラジルという成功例があるからなおさらだ。ガソリンの代替燃料として、サトウキビからエタノールをつくる政策を導入して 30 年。昨年、ブラジル政府は、エタノールと国産石油の増産により、石油の輸入をゼロにできたと発表した。再生可能エネルギーは将来有望な分野とみられ、著名な実業家たちが関連事業に総額 700 億ドル以上を投資している。

「エタノール燃料は、製造方法しだいでは”百害あって一利なし”になりかねません。ですが、野生生物を保護し、土壌中に蓄積された炭素も放出せず、あらゆる面で恩恵をもたらすような方法もあります」と、天然資源の保護を訴える環境 NPO で活動するナサニエル・グリーンは話す。彼らによれば、成功の鍵は、食用以外の植物を原料とすることにある。バイオ燃料は、トウモロコシの茎、牧草。成長の速い樹木、さらには藻類からも作れるはずだ。こうした試みと同時に、車の燃費を上げ、地域ぐるみで省エネルギーに取り組めば、2050 年までにガソリンの需要をゼロにできるという。

### バイオ燃料の歴史

ヘンリー・フォードが 1 世紀前に開発した第 1 号の T 型フォードはアルコールで走る車だった。ルドルフ・ディーゼルが発明した最初のディーゼルエンジンもピーナツ油を燃料にしていた。だが二人の発明家はまもなく石油に目をつけた。石油はちょっと精製するだけで、植物由来の燃料よりも

はるかにエネルギー効率がよく、製造コストも安い燃料になる。石油の普及で植物由来の燃料は忘れ去られたが 1973 年に OPEC が原油価格を引き上げ、第 1 次石油ショックが起きると、米国をはじめとする石油輸入国はエタノールを見直し、ガソリンに混ぜて供給不足を補った。

アルコール燃料が本格的に市場に再登場したのは 2000 年。おもにガソリンに混ぜて排気ガスをクリーンにする添加剤として利用された。さらにここ数年の中東情勢の混乱で、エネルギーの供給が差し迫った課題となり、米政府がエタノールの利用促進を掲げ、バイオ燃料ブームに火がついた。

エタノール推進派によれば、米国の石油業界は、税制上の優遇措置や中東の油田を守るための予算投入など、何十年も巨額の補助金を受けてきた。おまけに石油産業やガソリンの使用による大気汚染が、健康や環境に悪影響を与えている。石油業界への補助金は巨大資本を潤すだけだが、エタノール業界への補助金は農業地帯の経済再生に役立つという。

米国中西部のネブラスカ州では、州内で生産される作物の約 3 割をエタノール工場が消費するようになり、トウモロコシの価格は 2 倍に跳ね上がった。栽培農家はここ数十年で最高の収益を見込んでいる。 略

これだけブームになってはいるが、米国ではエタノールだけで車を走らせるのは難しく、おもにガソリンの添加剤として使用されている。ただし、中西部のトウモロコシ生産地帯では、約 1200 か所の燃料補給スタンドで、E85(エタノール 85%とガソリン 15%)と呼ばれる混合燃料を販売している。E85 は特殊な設計のエンジンでしか使えない。エタノールは燃費がガソリンに比べ 20%程度劣るが、中西部では 1 ガロン(約 3.8 リットル)当たり 2.8 ドルで、1 ガロン 3.2 ドルのガソリンに対抗できる。

ネブラスカ州西部の農場出身のクリスティー・ウィーツキーは、現在、人口約 560 人の小さな町ミードにある、米国最先端のエタノール工場の一つで技術部長を務めている。

エタノールの製造工程は、酒類の蒸留とほぼ同じだ。穀物を発酵させてアルコールにする技術は、はるか昔から知られてきた。まずトウモロコシの実の粉末に水を混ぜて加熱し、でんぷんを作る。このでんぷんに酵素を加えて糖に転換する。できた糖を酵母で発酵させると、アルコールになる。それを蒸留して純度を上げる。残った酒かすは家畜の餌になる。蒸留工程で出る排水は窒素を多く含むので、一部を肥料として畑にまく。この工程では、CO<sub>2</sub> が大量に排出される。エタノールが環境に優しいという説が疑わしくなるのは、このあたりからだ。発酵過程での酵母の CO<sub>2</sub> 排出に加え、大半のエタノール工場では天然ガスや石炭を燃やして蒸留のための熱を得ていて、このプロセスでも CO<sub>2</sub> が発生する。トウモロコシの栽培にも、天然ガス由来の窒素肥料が使われ、ディーゼル燃料で動く農機がさかんに使われている。

トウモロコシ由来のエタノールのエネルギー収支を調べた研究結果によると、製造に必要な化石燃料の方がエタノールで代替できる化石燃料よりも多く、収支は赤字になるか、わずかにプラスになる程度だという。算出方法により多少の差はあれ、トウモロコシ由来のエタノールが地球温暖化の解決策でないのは確かだ。

「バイオ燃料は弊害を生むだけです。本当は省エネに取り組むべきなのに」と、エタノール批判の急先鋒、米国コーネル大学のデビッド・ビメンテルは主張する。「エタノール事業は、政府が国民

の目をごまかすために行う事業だと、多くの人が嘆いています」

だが、ウィーツキーをはじめミードの工場の技術者たちは、自己完結型のシステムを導入すれば、エネルギー収支を改善し、温暖化ガスの排出を削減できると考えている。工場の隣の牧場から肉牛の糞を回収して1万5000キロリットル巨大な2台の処理装置にかけ、メタンガスを取り出して蒸留ボイラーの燃料にする。つまりバイオガスを使ったバイオ燃料の生産というわけだ。効率アップは環境に良いし、工場の増益にもつながると、ウィーツキーは言う。

トウモロコシ由来のエタノールを見る限り、バイオ燃料にはあまり期待できそうもない。だが、ブラジルのサンパウロでは、希望のもてる光景に出会うことができる。車が多いこの都市では、運転手が渋滞でいらいらしていても、アルコールがたっぷり入ったエンジンは、ほろ酔い機嫌でアイドリングしている。アルコールの供給源は、この国のサトウキビ生産地帯だ。

ブラジルでは1920年代から車の燃料にエタノールを使っていたが、70年代には国内で消費される石油の75%を輸入に頼るようになり、第1次石油ショックで経済は大打撃を受けた。

そこで当時の大統領エルネスト・ゲイセルは大胆なエネルギー転換政策に踏み切った。政府は新設のエタノール工場に多額の補助金を提供。国営の石油会社ペトロブラスにはエタノールの補給スタンドを全国に設置させ、エタノール100%の燃料で走る国産車の生産を奨励するため優遇税制を導入した。結果、80年代半ばには、ブラジル国内で販売される車はほぼすべてアルコールだけで走れるようになった。

純粋なエタノールはオクタン価が113前後と極端に高く、ガソリンよりはるかに高い圧縮比でよく燃えるので、エンジン出力が大きくなる。何より、政府の補助金のおかげで、ガソリンより大幅に安いのが魅力だった。

とはいえ、ブラジルでもエタノールが低迷した時期はある。原油価格が下落した90年代初めには、エタノールの補助金が段階的に打ち切られる一方で、砂糖の国際価格が上昇。サトウキビからエタノールを作るより、砂糖にしたほうがもうかるようになり、アルコール燃料が入手困難になった。「車に燃料を入れるのにも、2時間は待たされましたよ」と、サン・ベルナルド・ドカンボ市にあるフォルクスワーゲン・ブラジルの主任エンジニア、ホジェ・ギレーミは話す。

10年後に原油価格が上昇に転じると、再びアルコール燃料が見直されたが、ブラジルの人々は過去の苦い経験から、完全にアルコールに切り替えることには慎重だった。このとき、ギレーミは上司から難題を与えられた。ガソリンでもエタノールでも走行可能な車を低コストで考える、というのだ。

ギレーミのチームはフォルクスワーゲンに燃料システムを納入しているマニェティ・マレリ社と共同で、エンジンの電子制御ユニットの新しいソフトウェアを開発した。ガソリンでもアルコールでも、その混合燃料でも、最適な空燃費と点火時期を自動調整するシステムだ。

略　今ではこのシステムを搭載した車がブラジルの85%近くを占めており、エタノールはガソリンよりリッター当たり約60円安いので、この車の燃料の大半はエタノールだ。

実のところ、ブラジルのエタノール・ブームを支える本当の柱は、エンジン技術ではなくサトウキビだ。トウモロコシは、実に含まれるでんぷんに高価な酵素を加えて糖に分解して発酵させるが、

サトウキビは糖分を20%も含むため、収穫後はほとんど手間をかけずに発酵させることができ、1 ha の畑からトウモロコシの2倍以上の約 5700~7600 リットルのエタノールが得られる。

世界屈指の規模を誇る砂糖とエタノール工場、ウシナ・サン・マルチーニョは、“エメラルド砂漠”と呼ばれる、サンパウロ州中部の主要なサトウキビ生産地の中心に位置する。この巨大な工場では、年間700万トンのサトウキビから、国内で車の燃料として消費されるエタノール30万キロリットルと、おもにサウジアラビアに輸出される50万トンの砂糖を生産している。また、国内外で高まるエタノール需要に応じるため、作付面積が急速に拡大しているゴイアス州のサトウキビ生産地帯にも、300万トンの処理能力をもつエタノール専門の工場を建設中だ。

エメラルド砂漠では、一回の作付でサトウキビが7回収穫され、蒸留工程で出た排水は肥料として再利用される。サン・マルチーニョでも、電気を電力会社に頼っていない。この工場では、バガスと呼ばれるサトウキビの搾りかすを燃やして熱と電気を得ていて、通常操業ではわずかながら余剰の電力も生み出している。サトウキビを運ぶトラックや農機、種まき用の飛行機までもが、エタノール燃料を使用している。 略

略 サトウキビでは、投入する化石燃料と得られるエタノールの比が1:8程度。 略

もっとも、サトウキビにも問題はある。サン・マルチーニョのサトウキビはほぼすべて機械で収穫されているが、ブラジルの大半の地域では人の手で収穫される。高賃金とはいえ、暑さに耐えながらの過酷な仕事で、毎年過労で亡くなる労働者が出ているという。またヘビを退治するために、収穫前に畑に火を入れる慣行があり、そのときに上がる煤煙には、強力な温室効果ガスであるメタンと亜酸化窒素が含まれる。

ブラジルでは、今後10年でサトウキビの作付面積が2倍近く増える見込みで、森林伐採が進みかねない。また、サトウキビ畑の拡大で放牧地を追われた畜産農家が、アマゾンやセラードと呼ばれるブラジル中央部の生物多様性に富む草原地帯を切り開くかもしれない。「生産プロセスを考えると、アルコールは“クリーンなエネルギー”とはほど遠い。特に焼畑で労働者の酷使が問題です」と、サンパウロ州労働検察官マルセロ・ペドロソ・グーラーはいう。

### 食糧供給への影響

農作物を使ったバイオ燃料は、食料の供給を圧迫するという問題もある。国連は、バイオ燃料の潜在的なメリットは大きいとしながらも、1日に2万5000人も餓死しているなか、バイオ燃料ブームで作物の価格が上がれば、食料の安定供給が脅かされると警告している。21世紀半ばには、エネルギーと食糧の需要は2倍以上に膨れあがる見込みだ。だが、温暖化が進み、今後数十年で農業生産性は現在よりも低くなると、多くの科学者が危惧している。

食料の安定供給を脅かさずに、バイオ燃料のメリットを生かすには、食用以外の原料を用いるしかないだろう。これまではトウモロコシ実やサトウキビのしぼり汁がエタノールの主な原料となってきたが、植物の茎や葉、さらには木くずなど、通常は廃棄されるものからも、エタノールは作れるはずだ。

略

セルロース系エタノールの製造は理論上は単純だが、ガソリン並みにコストを抑えるのはそう簡単ではない。今のところ、米国でセルロース系のエタノールを生産しているのは数か所の実証プラントに限られている。略 現在の工程でアルコールに転換できるのは、バイオマスに含まれるエネルギーの45%程度。原油から石油を精製する場合の85%に比べれば、著しく効率が悪い。セルロース系エタノールがガソリンと競合するにはエネルギー効率を改善する必要があり、セルロースを効率的に糖化する酵素の研究が進められている。略

環境に影響を与えずにエネルギー問題を解決できる”夢の原料”はないと、バイオ燃料の研究者は口をそろえる。そうした中で、最も希望が持てそうなものは、池や沼に自生する単細胞の藻類だという。太陽光とCO<sub>2</sub>があれば、排水や海水の中でも育つからだ。略

藻類は温暖化ガスの排出を減らすだけでなく、他の汚染物質も分解する。でんぷんをつくる藻類からは、エタノールを生産できる。また、小さな油滴を作る藻類の場合、精製してバイオディーゼル燃料やジェット燃料を得られる。そして藻類の大きな利点は、条件が良ければ、ものの数時間で倍増することだ。

略

## 図説

### コーンエタノール

エネルギー収支	投入化石燃料 1 に対して得られるバイオ燃料 1.3
温室効果ガス排出量 1 リットルあたり	ガソリン 2.44
	コーンエタノール 1.93

### サトウキビエタノール

エネルギー収支	投入化石燃料 1 に対して得られるバイオ燃料 8
温室効果ガス排出量 1 リットルあたり	ガソリン 2.44
	サトウキビエタノール 1.07

### バイオディーゼル燃料

エネルギー収支	投入化石燃料 1 に対して得られるバイオ燃料 2.5
温室効果ガス排出量 1 リットルあたり	ディーゼル燃料 2.80
	バイオディーゼル燃料 0.90

### セルロース系エタノール

エネルギー収支	投入化石燃料 1 に対して得られるバイオ燃料 2-3.6
温室効果ガス排出量 1 リットルあたり	ガソリン 2.44
	セルロース系エタノール 0.22