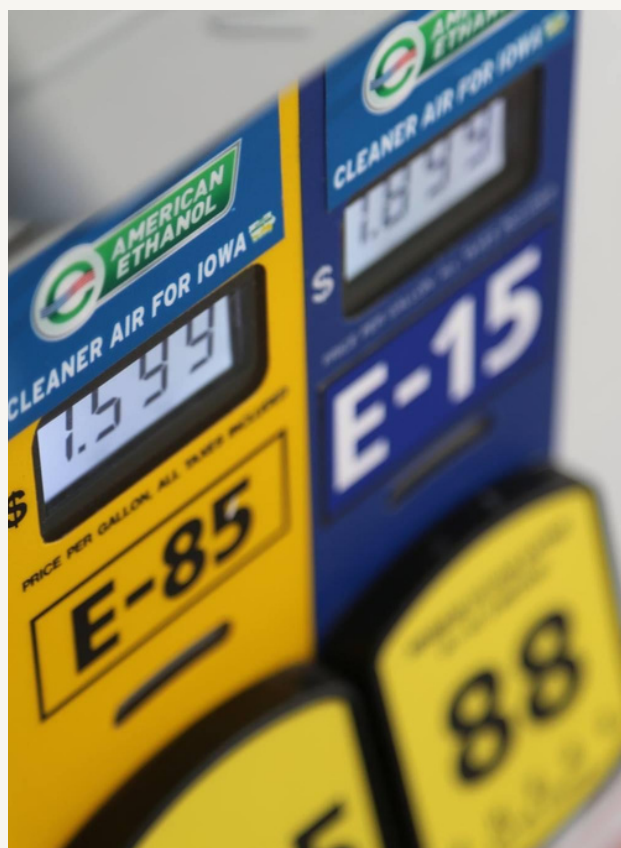




# バイオ燃料検討会 報告書

2023年4月  
アメリカ穀物協会



## 目 次

バイオ燃料検討会：はじめに .....	1
第1章 バイオエタノールと化石燃料 .....	4
1.1 脱化石へ向けたバイオマスの役割 .....	4
1.2 バイオマスの資源量 .....	7
1.3 バイオエタノールと環境保全性 .....	9
1.4 バイオエタノール混合ガソリンとエタノールからの航空燃料 .....	13
1.5 バイオエタノールの国産化 .....	16
第2章 バイオエタノール ～ カーボンニュートラルと気候変動 .....	21
2.1 はじめに .....	21
2.2 バイオエタノール導入の国内外の状況 .....	21
2.3 廃棄物由来バイオエタノールからのケミカル及び燃料製造 .....	25
2.4 非食用バイオマスからのバイオエタノール製造技術 .....	27
2.5 バイオエタノールの普及拡大に向けて .....	30
第3章 バイオ燃料をメディアはどう報じたか .....	34
3.1 はじめに .....	34
3.2 バイオエタノールをめぐる国内外の動向 .....	34
3.3 バイオエタノールに関するメディアの動向 .....	38
3.4 まとめ .....	42
第4章 私たちの生き方とエネルギー問題～カーボンニュートラルについて考えてみて ...	44
4.1 はじめに .....	44
4.2 家庭からの CO2 排出量 .....	44
4.3 日本の CO2 排出量 .....	46
4.4 CO2 排出量が増えることによる問題 .....	47
4.5 私たちが生きていくために必要なもの .....	48
4.6 私たちにできる省エネ .....	51
4.7 別な視点からも考えてみる .....	52
4.8 それぞれにできること .....	55
4.9 まとめ .....	57

第5章	次世代へのバイオエタノール .....	59
5.1	はじめに .....	59
5.2	再生エネルギーに関する世界と日本の状況 .....	59
5.3	日本の農地情勢とバイオエタノールの可能性 .....	61
5.4	下水汚泥と再生エネルギー .....	63
5.5	食料残渣と再生エネルギー .....	66
5.6	ゼロエミッション時代を生きる .....	69
5.7	結び .....	70
第6章	なぜ、日本の車は「バイオエタノール燃料」で世界から取り残されたのか！ .....	73
I.	車のエタノール燃料の現在と過去 .....	73
6.1	「はじめに」 .....	73
6.2	車のエタノールはカーボンニュートラル .....	73
6.3	車はアルコールで走るの？ .....	74
6.4	ブラジルはいかにしてエタノールを普及させたのか .....	76
6.5	日本はE T B Eを配合した「バイオガソリン」 .....	76
6.6	名古屋と大阪に先進的な「E 3」スタンド .....	78
6.7	いよいよ「E 7」も販売へ .....	79
6.8	大阪府の実証実験 .....	80
II.	国産エタノールははたして実現するのか？ .....	81
6.9	電気自動車にも弱みはある .....	81
6.10	「バイオ燃料・合成燃料議員推進連盟」誕生 .....	82
6.11	新潟で「米からエタノールをつくる」実験 .....	83
6.12	国産エタノールの課題は低コストの実現 .....	84
6.13	バイオマス活用計画は頓挫 .....	84
6.14	コメのエタノールを通じて水田の多機能性を発揮 .....	85
6.15	超多収性のゲノム編集イネで再チャレンジ .....	86
6.16	まとめ .....	87
第7章	バイオ燃料の可能性：市場と産業の創造に向けて .....	88
7.1	はじめに .....	88
7.2	世界の穀物生産・貿易における米国産トウモロコシのポジション .....	89
7.3	世界のエタノールの生産・消費動向 .....	92
7.4	米国におけるエタノールの生産と消費 .....	93
7.5	食料安全保障とバイオ燃料：わが国の可能性 .....	97

7.6	おわりに.....	100
第8章	日本のエネルギー政策とこれからの方向.....	102
8.1	はじめに.....	102
8.2	日本のエネルギー政策の変遷.....	102
8.3	気候変動と再生可能エネルギー.....	104
8.4	今日の日本のエネルギー政策.....	106
8.5	再生可能エネルギー拡大の方向.....	108
8.6	日本におけるバイオエタノールの普及のために.....	110
8.7	おわりに.....	111
	<バイオ燃料検討会の提言> .....	113

# バイオ燃料検討会

はじめに

アメリカ穀物協会 浜本哲郎

2005年、米国政府は大気汚染防止とエネルギーの自給度向上を意図して、トウモロコシを原料とするバイオエタノールの生産を推進する政策を始めた。この政策は農業政策としても重要であった。米国農業の主要作物であるトウモロコシは、主に家畜飼料原料として重要なものであったが、その利用先としてのバイオエタノール生産の開拓という意味合いもあった。しかし、2008年の世界的穀物価格高騰が起こった際に、このトウモロコシのバイオエタノール生産、すなわち燃料への利用がその原因としてやり玉に上がったのである。

当時からトウモロコシの家畜飼料としての利用と燃料への利用の「競合」と、トウモロコシの供給懸念や食糧価格高騰についてのさまざまな解析が行われ、それに関する報道も盛んになされるようになった。

現在も、多様な立場の人たちがこの農作物利用先としての食糧と燃料について議論をし、その結果が公表、報道されてきている。この問題が、どのように報道・紹介されてきたのだろうか、すなわち、「本当に起こっている（起こってきた）こと」と「メディアや専門家の言っている（言ってきた）こと」は「食糧対燃料」の本当の姿なのであるだろうか。

まずは、果たして食糧は不足した（している）のか？ そうだとすれば、その原因は何か、原因別の貢献度が出せるのか？ 特に、トウモロコシの食糧不足・食糧価格高騰との因果関係はあるのか、果たして報道が穀物間（例：トウモロコシと小麦）の混同をしているのではないのか。

本検討会には各方面の異なる立場の専門家にご参加いただいている。それぞれの立場によって、バイオエタノールとはそもそも何なのかという、バイオエタノールの製造、利用、恩恵や問題点に日々触れ続けている者にとって見過ごしがちな根本や、周辺の科学、社会との関わりを含めた側面を、基本的なところから見つめなおす試みとなることを期待している。

バイオエタノールについては、多くの人々にとって多様な疑問があることがわかる。これらの疑問への回答を導き出す出発点として、バイオエタノールとは何なのか？ その原料や利用、恩恵などを掘り下げていった。本当は何が起こってきたのか？ 何が問題なのか？ どの

ようにとらえたらよいのか？ひいては、私たちにとって、また身近なコミュニティや社会やより大きな人類全般にとって、バイオエタノールがどのような意味合いを持つのかを解析し、解明しようとしている。

東京大学名誉教授・アジア成長研究所本間正義特別教授と横山伸也東京大学名誉教授を座長として、以下の専門家の先生方に委員として参加していただき、数回の議論を重ねた後に、本報告書をまとめていただいた。まず、第1章では化学工学が専門の横山伸也東京大学名誉教授により、バイオエタノールの化学的な定義や恩恵を解説し、国産のバイオエタノールの生産・利用の可能性や意義を掘り下げていただいた。第2章では国立研究開発法人産業技術総合研究所エネルギー・環境領域領域長補佐の坂西欣也博士から、カーボンニュートラルや気候変動とのバイオエタノールを含むバイオ燃料のかかわりについて解説いただいた。さらに、調査・コンサルティングの専門家である内野尚氏から第3章として、バイオ燃料をメディアはどう報じてきたかを、報道件数や内容の面から解析いただいた。

本検討会では、化学工学、農学、社会科学の専門家の方々だけでなく、生活者の立場からもバイオエタノールの受け止められ方の検討を行った。私たち自身は身近な社会や将来の世代にとってのエネルギーをどうとらえていくのかという視点から、バイオ燃料を第4章と第5章で俯瞰していただいた。第4章ではサイエンスコミュニケーションの専門家であるNPO法人「くらしとバイオプラザ21」常務理事の佐々義子氏から、私たちの生き方の中でのエネルギー問題を浮き彫りにし、バイオエタノールの位置づけを行っていただいた。さらに第5章では見城美枝子青森大学名誉教授から、未来を担う将来世代へのこれからのエネルギーとして、バイオエタノールを含むエネルギーについて、その原料や利用について、私たちのあるべき考え方に光を当てていただいた。第6章では、元毎日新聞記者の小島正美氏より、メディアでの豊富な経験をベースに、「車の燃料としてのエタノールの視点から見て、日本の車と政府の政策がいかに世界の趨勢からかけ離れてきたか」に関する問題点を深掘していただいた。

以上の議論を踏まえて、第7章では経営戦略と国際経済が専門の宮城大学食産業学群副学群長の三石誠司教授からバイオエタノールとその原料であるトウモロコシ、そして日本での生産の可能性について、国家としての日本やそこに暮らす私たち一人ひとりの日本人として、どのように考えていけばよいのかの道標と、バイオ燃料の位置づけをまとめていただいた。最後に第8章として本間正義教授から、各委員の議論をベースに、日本のエネルギー政策これからの方向とバイオ燃料の意義についての総括をしていただいた。

全体を通じて、多くの議論が、当初の期待と良い意味で異なった。それは、異なる分野の専門家が、異なるアングルからバイオエタノールを出発点とするエネルギー供給や政策の

あるべき姿を論じているが、どの議論もすべて、日本でのバイオエタノール生産やその原料の国内生産の意義を強く訴え、その結果、結論と提言が日本の農業生産の活性化に集約されていったことであった。その意味では、当初、議論の焦点として挙げられた「食糧対燃料」の対決の構図が、見事にそれを包み込む農業生産、とりわけ日本の農業生産・政策のあるべき姿が「食糧と燃料」の協調の構図を生み出す効果的な手段の一つであることが導き出された。

この報告では、「食糧と燃料」の構図について、「食糧（に使える農作物）を燃料生産に横取りされるのはけしからん」という見方や、「食糧と同様に重要な燃料生産に農作物を利用することに全く問題はない」というもう一方の見方の「対決」ではない、将来に向けた建設的な議論と提言が行われた。そして、今後の日本のバイオエタノールを含むエネルギーの方向性やエネルギー生産とバイオエタノール原料としての農業生産の可能性が示され、食糧生産とエネルギー生産の協調した発展についても議論されたことは大変意義深い。この報告が、政策立案者、産業界、そして最も重要な私たち生活者にとって、将来の農業生産とエネルギー生産の「食糧と燃料」生産への協調に向けたヒントを与えてくれるものになることを期待する。

1.1 脱化石へ向けたバイオマスの役割

1.1.1 人口増加とエネルギー消費量

図1は世界の人口増加とエネルギー消費量の推移である<sup>1)</sup>。1800年代までは穏やかな増加をしていた世界人口が、産業革命による石炭消費量の増加と共に増えてゆき、20世紀の半ばに石油が使われ始めたのと同時期から急増している。世界人口は2022年に80億人を超えた。先進国は一定の低水準で推移しており、中国も減少傾向に向かう兆しを見せている。ただし、インドの人口はこれからも漸増し、アフリカの人口も増えそうである。国連報告書によれば、2050年に97億人に達した後、2100年頃に頭打ちになるとしている<sup>2)</sup>。

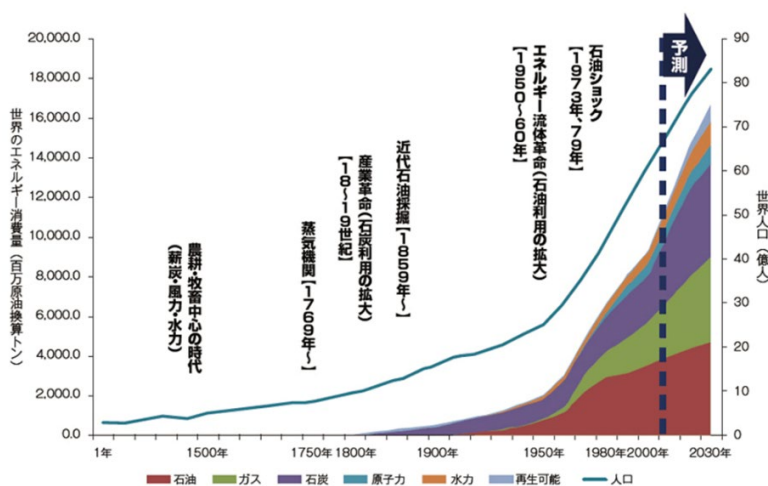


図1. 世界のエネルギー消費量と人口の推移

エネルギーに関しては、世界の人口増加に伴いこれまでと同じ趨勢で増加していくと予想される。しかし、環境制約から化石エネルギー使用が極端に制限される状況になりつつある。化石エネルギーの対極にある再生可能エネルギーは自然エネルギーとほぼ同じであるが、自然エネルギーは地理的な条件、気候的な条件に大きく左右される。世界的レベルでGHG (Greenhouse Gas: 温室効果ガス、以下 CO2 とする)の排出規制をしても、2050年にゼロエミッションになるのは容易ではないと思われる。しかし、ゼロエミッションを目指すには、革新的な技術開発とこれに対応した社会システムの確立に加えて、様々な現実的な対応を取らざるを得ないと思う。

1.1.2 世界と日本の CO2 排出量の推移

図2は1971年以降50年間の世界のCO2排出量の推移である<sup>3)</sup>。日本を含めて先進国は



概ね平準化しているが、突出しているのが中国である。2007年に中国が米国の排出量を追い越し、世界の排出量の約30%を占めている。

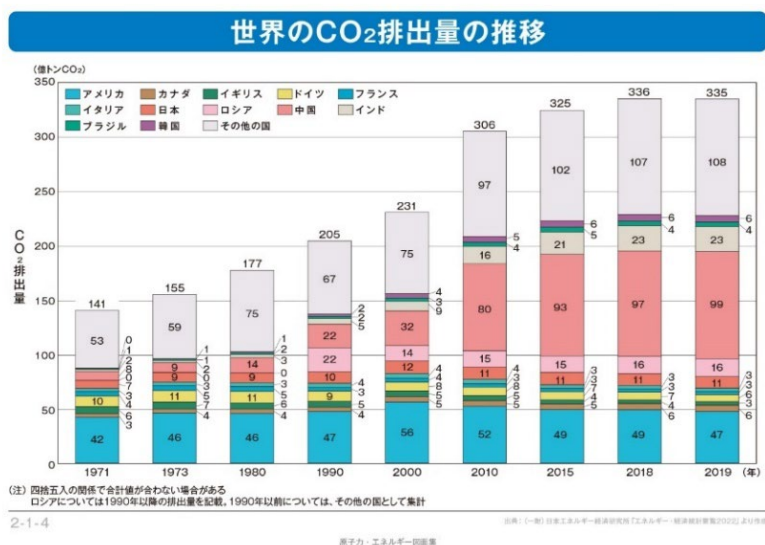


図2. 世界のCO2排出量の推移

ワシントンポスト紙 2015年3月24日の記事によれば、図3に示すように、中国が2011年から2013年の3年間で消費したセメント量は、米国が1901年から2000年までの20世紀の100年間に使ったセメント消費量を上回っている<sup>4)</sup>。経済成長に伴うすさまじいまでの量であり、当然これはCO2排出量の増大にも直接つながってくる。セメントは石灰石を焼いて作るため、この段階でCO2を排出し加熱にも化石燃料を使うため、二重にCO2を排出するからである。図2から分かるように、中国のCO2排出量は頭打ちの感じではあるが、再生可能エネルギーの大幅導入に加えて、既存の石炭火力発電所の高効率化など更なる対策が望まれる。

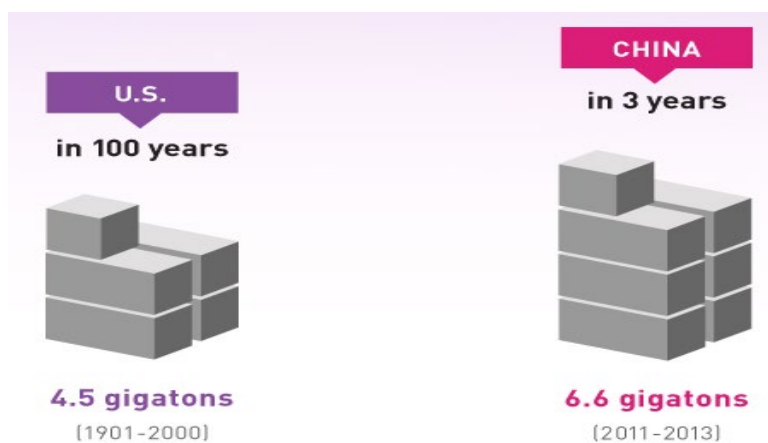


図3. 米国が20世紀に中国が2011年から2013年に消費したセメント量

これに対して、ここ 20 数年間わが国の CO2 排出量は 12 億 t から 13 億 t、全体に占める割合も 3%前後で推移している。2020 年の排出量は世界第 5 位であるが、ここ数年減少傾向が続いており、2020 年は 11 億 5000 万 t であった。

わが国は 2013 年比で 2030 年の CO2 排出量を 46%減、2050 年には実質的に CO2 排出量をゼロにするカーボンニュートラルを宣言した。省エネルギーにより CO2 排出を削減する余地はあまりないので、各部門において革新的な技術と共にできる限りの様々な工夫が求められる。

### 1.1.3 バイオマス資源の特質と役割

再生可能エネルギーは自然現象を利用したエネルギーで、太陽光、風力、水力、地熱、バイオマスなどが主なものである。バイオマスを除いたこれらの再生可能エネルギーは、発電はできるが、炭素を含んでいないので物質生産、例えば燃料やケミカルを作るとは原理的に不可能である。石油や天然ガスのような化石資源を除けば、燃料やケミカルの原料をバイオマスに頼らざるを得ない。路上を走行する自動車は将来的には EV(電気自動車)にシフトしていくと予想されるものの、内燃機関で走るガソリン車は、その利便性や価格で EV を上回っているし、耐用年数から考えても簡単には市場から消えないと思われる。

米国エネルギー情報局 (Energy Information Administration) の予想によれば、2050 年においてもガソリン車は、販売車数の 79%を占めていると予想されている<sup>5)</sup>。国際再生可能エネルギー機関 (IRENA) によっても、2050 年における車両の 55%は液体燃料で走行すると予想されている<sup>6)</sup>。航空燃料に関しては、電気や水素燃料で飛ぶ飛行機の実現は、まだまだ遠い将来の話で、現実的にはバイオマスを原料とする液体燃料しかない。脱炭素という制約から、SAF (Sustainable Aviation Fuel : 持続的な航空燃料) が開発されてはいるが、ほとんどはバイオマスを原料としている。

表 1 各種のバイオ燃料

	バイオ燃料
気体	メタンガス(発酵法による)
液体	エタノール、植物油、バイオディーゼル、SAF、バイオマス由来の合成燃料
固体	薪、木炭、木質ペレット、木材チップ、バイオコークス

表 1 はバイオ燃料を示したものである。気体状のバイオ燃料では一般には廃棄物系バイ

オマスの嫌気性消化で発生するメタンガス、液体状のバイオ燃料としてはエタノールをはじめバイオディーゼル、SAF、固体バイオ燃料は、熱利用や発電にも使われる木炭、木材チップ、木材ペレットなどである。本章では、液体燃料としてのバイオエタノールを中心として、資源量、有効性、環境保全性、国産化の可能性について述べる。

## 1.2 バイオマスの資源量

### 1.2.1 国内資源量

前節で述べたように、航空機には液体燃料が不可欠であり、路上走行の車両にも当分は液体燃料が必須である。これらの原料となるバイオマスは、わが国にどのくらいあるのだろうか。図4は農林水産省をはじめ関連府省庁がコミットしているわが国の資源量である<sup>7)</sup>。












		2020年			2025年	
バイオマスの種類	発生量 :  利用率 : 	発生量 (万炭素トン)	利用率 (万炭素トン)	利用率	利用率 (目標値)	
バイオマス 廃棄物系	家畜排せつ物		474	411	87%	約90%
	下水汚泥		90	68	76%	約85%
	黒液		409	409	100%	約100%
	紙		963	786	82%	約85%
	食品廃棄物		63	18	29%	約40%
	製材工場等残材		255	250	98%	約97%
	建設発生木材		242	233	96%	約95%
バイオマス 未利用系	農作物非食用部 (すき込みを除く)		423	128	30%	約45%
	林地残材		485	125	26%	約30%以上
総計		3,404	2,428			

図4 わが国のバイオマス利用可能量

バイオマスの発生量が3,404万t、利用率が2,428万tなので、その差が976万tとなる。すなわち、現状では利用可能なバイオマス量は約1,000万tとなる。ただし、この量は炭素換算であることに留意する必要がある。仮に、この1,000万tをすべて発電に使うとすれば、約500万kWに相当する。2020年度の発電設備能力は約3億kWであるから、500万kWはその2%弱となる<sup>8)</sup>。この量は無視できるような量ではないにしても、エネルギー需要の一部しか代替できないことを示している。従って、さらなる需要に応えるには、輸入あるいは国産のバイオマス原料の増産を図らなければならない。

## 1.2.2 世界の資源量

一方、世界でのバイオマス資源量はどの程度利用可能であろうか。ここでは IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change: 気候変動に関する政府間パネル) のデータを用いることにする。図 5 は、Net Zero Emission に向けたバイオマスエネルギー供給量であり、18 のシナリオがある (黒色の棒グラフ)<sup>9)</sup>。このシナリオ中、最大の供給量は約 320EJ (EJ はエクサジュールと呼び  $10^{18}$ J である)、最小は約 100EJ である。ちなみに、2020 年の世界のエネルギー消費量は約 600EJ である。すなわち、最大ケースでは、バイオマスだけで世界のエネルギー需要の半分以上を賄うことができる。

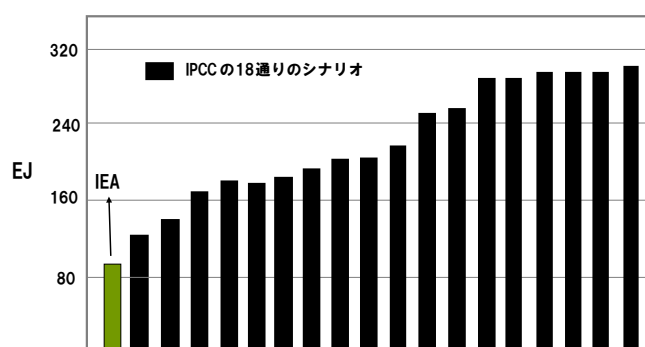


図 5 2050 年の NET ZERO EMISSION に向けたシナリオ

IEA (International Energy Agency:国際エネルギー機関) は、IPCC の利用可能量について不確実性が高いという理由で、100EJ 程度 (緑色の棒グラフ) としている。この最小値でも世界のエネルギー消費量の 17%となる。グローバルな視点からは、条件次第ではあるが、現時点での世界のエネルギー需要の 6 分の 1 程度は、バイオマス資源で賄えると考えてよさそうである。

## 1.2.3 バイオマス資源の確保と増産の課題

前述したように、現状ではわが国のバイオマス資源の利用可能量は炭素換算で 1,000 万 t であり、これから増加することが予想される需要量を賄うことはできない。バイオマス資源として有望なのは森林資源である。2019 年度の木材自給率は 40%弱ではあるが、森林蓄積量は人工林だけで 33 億  $m^3$  もあり、利用されているのは 3,000 万  $m^3$  である<sup>10)</sup>。森林の成長量は毎年 7,000 万  $m^3$  から 1 億  $m^3$  と推定されている。これは炭素換算にすると、1,200 万 t から 1,700 万 t に相当する。森林資源が十分に利用されていない理由は、急傾斜など地理的

な悪条件、低い路網密度、林業従事者の激減などがある。1965年に21.6万人いた林業従事者は2015年には4.5万人となっている。この他に、森林の境界が明確でないことなど地籍調査の問題もある。このような状況下であるが、地籍調査もリモートセンシング技術により境界の明確化の動きも進んでおり、路網整備、施業の集約化や高性能林業機械の導入により、傾斜地でも木材の伐採、収集、運搬などを効率的に行えるようになってきている。未利用の森林資源を利用せざるを得ない時代になっているので、時代に相応しい新たな制度設計と高性能林業機械の導入を進める必要がある。

耕作放棄地を利用してバイオマスを新たに増産する方法もある。わが国では、コメは自給率が100%を超える数少ない作物である。日本人が食べているコメの消費量は減り続けている。1962年度には一人当たり118kg食べていたが、2020年度は51kgであり、生産量も1967年度の1426万tをピークに2020年度は815万tとなっている。水稻の作付面積は1969年に317万haあったが、2021年には140万haまで減少しており、耕作放棄地が増え続けている。この土地にコメやトウモロコシを植えて、バイオエタノールを作ることもできる。国産バイオエタノールの可能性については、第5節で述べる。

将来的には藻類の培養も可能性の一つである。藻類には微細藻類から海水で生育する大型の藻類まで考えられる。わが国は四方を海に囲まれ、排他的水域は世界で6番目の広さがある。淡水で生培養する微細藻類としてはユーグレナが良く知られており、栄養補助食品として販売され、航空燃料としてもわずかな量ではあるが使われている。まだ、現状では経済性の面で課題があるが、将来はバイオテクノロジーに基礎を置く技術や大量培養などによりコストダウンも可能であろう。海水を使った藻類の培養も、まだまだ課題があるにしても生産速度が大きいことからバイオマス資源として視野に入れるべきで、技術開発に研究資源を投入すべきであると考えられる。

### 1.3 バイオエタノールと環境保全性

#### 1.3.1 トウモロコシからバイオエタノール製造技術

航空燃料や当分の間自動車燃料として、化石燃料が使えないとすればバイオマスを原料とするしかない。世界のバイオエタノール生産量は、2000年では約2,000万kL程度であったが、これ以降急速に伸びてきている。現在、バイオエタノールは輸送用燃料として年間で約1億kL作られており、米国はトウモロコシから約6,000万kL、次いでブラジルはサトウキビから、約3,000万kLのバイオエタノールを作っている。

図6はトウモロコシからのエタノールの製造工程である。トウモロコシを粉碎し、液状にした後、主成分のデンプンを糖化させるために酵素を加える。これに酵母を加えて発酵させる。発酵後は蒸留でエタノールを濃縮するが、共沸現象により96%以上には濃縮できない。99%の無水エタノールを得るには、脱水やベンゼンなどの第3成分を添加した共沸蒸留を行う。米国ではトウモロコシ1tから、440L(約350kg)のエタノールが生産されるが、同時にDDGS(Distiller's Dried Grains with Solubles: トウモロコシ蒸留粕)とCO<sub>2</sub>が

併産される。エタノール、DDGS、CO<sub>2</sub> は重量でほぼ 1 : 1 : 1 の割合となる。

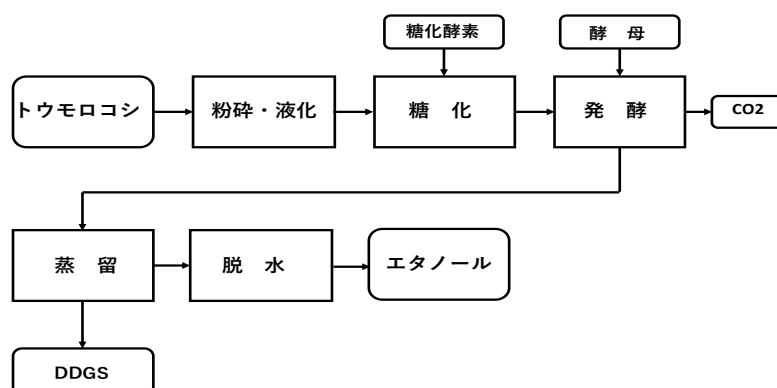


図6 トウモロコシからのエタノールと DDGS 製造プロセス

トウモロコシの場合は、絞り汁がほぼショ糖のサトウキビとは異なり、原料中に含まれるデンプン以外のタンパク質や油分が、エタノール発酵後に回収されて、飼料として価値のある物質が併産される。この回収物を乾燥されたものが、前述した DDGS である。これは日本にも年間 30 万 t から 50 万 t 輸入され、主に産卵鶏の飼料に利用されている。

さらに発酵工程からは CO<sub>2</sub> が排出され、これは炭酸飲料やドライアイスとして使われている。地下のシェールオイルの回収のために、地中に圧入される EOR(Enhanced Oil Recovery : 原油増産回収)用のガスにも使われる<sup>11)</sup>。CCS (Carbon Capture and Storage : 二酸化炭素回収・貯留) 技術により、CO<sub>2</sub> を積極的に大気から取り除くネガティブエミッションの一つとしても利用できる。発酵過程から発生する CO<sub>2</sub> は純度が 99% なので、精製や濃縮の必要がない。今、注目されている合成燃料の原料としても最適であり、今後の技術展開が期待される。

### 1.3.2 CO<sub>2</sub> 削減効果

バイオエタノールを車の燃料として使うことが、CO<sub>2</sub> の排出削減になり環境に対してやさしいといわれるのはなぜであろうか。それは LCA 的な観点から、ガソリン燃焼時に排出する CO<sub>2</sub> に比べて、バイオエタノールを燃焼した時に排出する CO<sub>2</sub> 量が少ないからである。ただし、バイオマスの燃焼時に発生する CO<sub>2</sub> は、バイオマスがカーボンニュートラルであるという前提でゼロカウントとして扱うことにしている。このライフサイクル的観点からの燃料の単位熱量当たりの CO<sub>2</sub> 排出量を、CO<sub>2</sub> 排出係数とか炭素強度 (CI : Carbon Intensity) と称する。以降は CI を使うことにする。

わが国ではエネルギー供給構造高度化法により、燃料用として年間で原油換算 50 万 kL のバイオエタノール（約 82 万 kL）を輸入している。現行では、バイオエタノールの CO2 排出量の基準として、ガソリン比で 45%（削減率は 55%以上）未満としている。現状では、燃料用バイオエタノールの全量を米国とブラジルから輸入している。

表 2 バイオエタノールとガソリンの CI (CO2 排出係数)

	既定値
米国産バイオエタノール	36.86 g - CO2/MJ
対ガソリン比削減率	58.46%
ブラジル産バイオエタノール	28.59g- CO2/MJ
対ガソリン比削減率	67.78%
ガソリン	88.74gCO2/MJ

表 2 は、米国産とブラジル産のバイオエタノール及びガソリンの CI 値である。2023 年の告示改正により、削減率の基準は、対ガソリン比では 55%以上と従来と変わらないが、米国産バイオエタノールとブラジル産バイオエタノールの CI 値が変更された。両者とも、削減基準値を下回っている。しかし今後、ガソリンの CI 値と CO2 削減率は変更される可能性がある。

一つ留意すべきは、わが国ではバイオエタノールではなくて、ETBE（エチル・ターシャリー・ブチル・エーテル）に変換されてガソリンに混合されていることである。この理由として、バイオエタノールは水分を吸収する、ゴムなどの部材が腐食する、蒸気圧が上がるなどと指摘されている。しかし、世界中でバイオエタノールを 10%混合した E10 ガソリンが何の支障もなく自動車の走行に利用されている。一方で、わが国では平均でガソリンに 2%弱しか混合されておらず、世界標準ともいえる E10 ガソリンの導入に切り替えるべきである。

図 7 は、2005 年以降の米国産バイオエタノールの CI 値の推移と予測であり、年々減少してゆく傾向がみられる<sup>12)</sup>。トウモロコシの生産性の向上、プロセスの効率化による投入エネルギーの減少に加えて、発生する CO2 の地下貯留などにより減少していくと想定され

ている。将来は実質的に、ゼロエミッションからネガティブエミッションも可能であると予想されている。

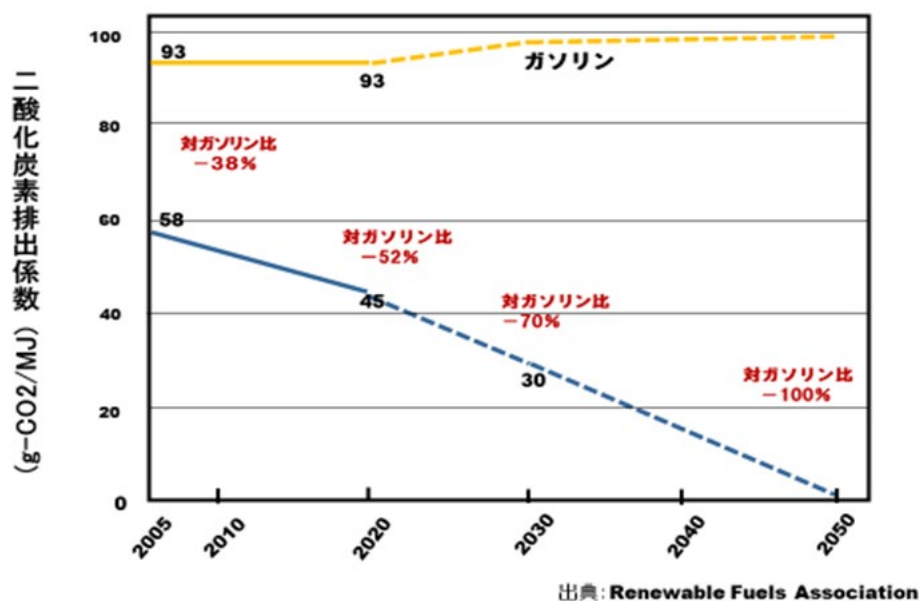


図7 米国産バイオエタノールのCIを表す(CO2排出係数)の推移

### 1.3.3 エネルギー収支の向上

エネルギー生産プロセスの効率を示す指標として、EPR (Energy Profit Ratio: エネルギー収支比) がある。EPR は投入するエネルギーに対する産出エネルギーの割合を示し、大きければ大きいほど望ましい。米国産バイオエタノール生産の EPR の推移を表3に示す。

2002年のUSDA (米国農務省) の報告によれば、EPRは1.34であった<sup>13)</sup>。この値は年々改善されてきたが、最大の要因はトウモロコシの生産性向上である。1970年代はトウモロコシの単収は1ha当たり5.7tであったが、1995年から1997年では7.6t、1999年から2001年では8.6tとなっている。さらに2013年のUSDAの報告によれば、EPRは2.6から2.7に向上している。併産物であるDDGSのエネルギー投入に関しては、熱量法、重量法、経済的価値による方法、代替法などいくつかある中で、最も値の低い代替法による保守的な数値を使っている。



表3 米国産バイオエタノールのEPR（エネルギー収支比）の推移

	USDA 2002	USDA 2013	RFA 2016		RFA 2021	
	平均	平均	平均	上位 1/4	平均	上位 1/4
EPR (a)	1.3	2.6	2.6	3.2	2.8	3.7
EPR (b)		2.7	2.7	3.4	3.0	4.0
備考	トウモロコシの 単収増加 1970年代 5.7t/ha 1999-2001 7.6t/ha	エタノールの 変換効率向上	エタノールの 変換効率向上 併産物の高効率 生産		エタノールの変 換率向上 併産物の高効率 生産 単収増加 10t/ha	

(a) Co Product Credit (測定値)  
 (b) Co Product Credit (モデルによる推定値)

RFA (Renewable Fuels Association : 再生可能燃料協会) の 2016 年と 2021 年の報告によれば、EPR はさらに改善されている<sup>14)</sup>。2016 年の報告では、EPR が 2.6 から 2.7、アイオワ州やミネソタ州を含む上位 4 分の 1 の州は 3.2 から 3.4 である。2021 年では 2.8 から 3.0、上位 4 分の 1 の州では 3.7 から 4.0 である。この間、トウモロコシ輸送に係るエネルギー投入量はほぼ一定である。トウモロコシの単収増加、変換過程でのエネルギー投入量の削減、併産物の高効率生産が EPR 向上の大きな要因といえる。

#### 1.4 バイオエタノール混合ガソリンとエタノールからの航空燃料

##### 1.4.1 バイオエタノール混合ガソリン

わが国では 2018 年基準で 2030 年までに、自動車から排出される CO<sub>2</sub> を 2.287 万 t 減らさなければならない。CO<sub>2</sub> を削減するためには、従来車の燃費改善に加えて、EV (電気自動車)、HV (ハイブリッド車)、PHV (プラグイン・ハイブリッド車)、FCV (燃料電池車) などの次世代自動車を導入する必要がある。図 8 は E10 ガソリンを従来車、HV、PHV に導入した場合の CO<sub>2</sub> 削減効果を示したものである<sup>15)</sup>。ただし、CO<sub>2</sub> 削減に関しては、「政府の地球温暖化対策の推進に関する法律」に従い、バイオエタノールの CO<sub>2</sub> 削減効果は非 LCA 的な扱いで 100%としている。

ここでは、基本ケースと最大ケースの 2 ケースを想定している。基本ケースは次世代自動車の普及台数を元に保守的に見積もったケースで、最大ケースは政府目標を元に最大限の普及を見積もったケースである。基本ケースも最大ケースも、従来車の燃費改善と次世代自動車の導入だけでは目標を達成できない。基本ケースでは E10 ガソリン導入により目標値に 9%足りないが、最大ケースでは目標値を上回る。

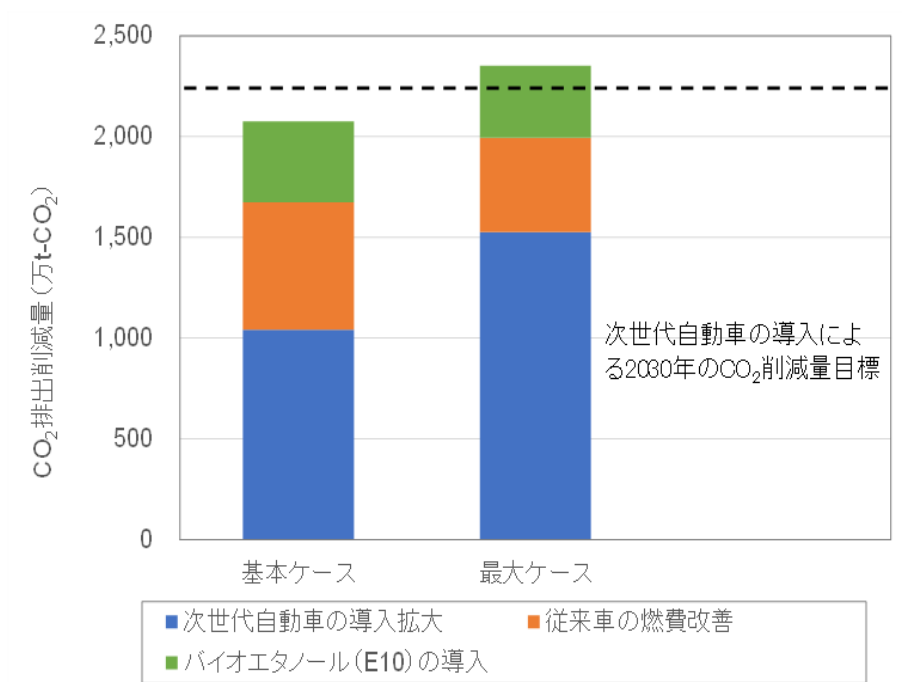


図8. E10 導入による CO<sub>2</sub> 削減効果

政府目標によれば、EV と PHV の新車販売台数に占める割合は 2020 年で 15% から 20%、2030 年で 20% から 30% としている<sup>16)</sup>。しかし、2022 年時点で 1% 程度であることを考えれば、EV、PHV や FCV といった次世代自動車の普及は予想以上に難しいのではなかろうか。E10 ガソリンの従来車や HV への導入は、CO<sub>2</sub> 削減に即効性があり、インフラ整備費がほぼ不要で、次世代自動車導入に比べて CO<sub>2</sub> 削減コストが最も安く消費者にとって有利である。わが国でのガソリン混合率はわずか E2 以下であり、しかも ETBE に変換して導入されているが、早急に E10 直接混合に切り替えるべきであると考えます。E10 ガソリン導入を促進することは、内燃機関を使えるので、わが国の誇る自動車産業の製造技術を維持し発展させることにもなる。

#### 1.4.2 バイオエタノールから航空燃料 (ATJ) の製造

航空業界も脱炭素に向けて動いており、石油系の従来のジェット燃料に替わって SAF (Sustainable Aviation Fuel: 持続的航空燃料) の開発が行われている。自動車と異なり、航空機は電気や水素燃料に替わるのは相当先であり、当面はバイオマス由来の SAF が中心に

なる。

現在は、HEFA (Hydrotreated Ether and Fatty Acid：水素化処理エーテルと脂肪酸) と呼ばれる植物油からの SAF が一部既に商業化されている。原料が廃食用油などで安価であるが、供給量に制約がある。次いで有力と見なされているのが、アルコールを原料とする ATJ(Alcohol to Jet)法である。

図9はATJ法によるSAF製造プロセスの概略図である。エタノールを脱水してエチレンを作り、このエチレンを重合し、次いで水素化を行った後、蒸留して目的のATJ燃料を作る。

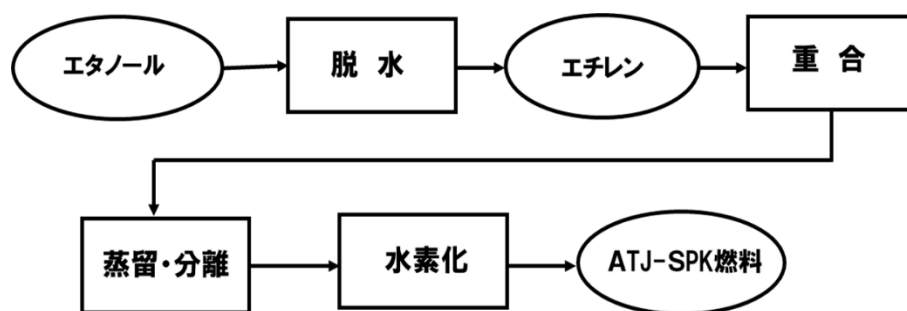


図9 ATJ法によるSAFの製造プロセス

ATJ法で製造したバイオジェット燃料は、従来の航空燃料と混合する。これはドロップインフューエルとして給油できる。ATJ法で作ったバイオジェット燃料は上限で50%まで混合でき、航空燃料の規格であるATJ-SPK (ATJ-Synthetic Paraffinic Kerosene) としてASTM D7566 Annex 5 に認証されている。

#### 1.4.3 ATJのCO2削減効果

国際航空便の航空燃料はICAO(International Civil Aviation Organization:国際民間航空機関)の CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation:国際航空のためのカーボンオフセット及び削減スキーム) により、適格性が定められている。これによると SAF の原料、製造法、土地利用変化などの評価により、CI 値が大きく影響されている<sup>17)</sup>。

木質系バイオマスや農業残渣からのエタノールいわゆる、次世代バイオエタノール由来の SAF の CI 値は小さい。一方、トウモロコシのような穀物を原料とした場合は非常に大きな数値になっている。加えて、間接的土地利用変化 (ILUC: Induced Land Use Change) による CI 値も非常に大きな値である。従来の石油系ジェット燃料の CI 値は、おおよそ 89g-CO<sub>2</sub>/MJ である。サトウキビ原料のブラジル産エタノールによる SAF の CI 値は、32.8g-CO<sub>2</sub>/MJ (この内、ILUC によるものは 8.7g-CO<sub>2</sub>/MJ) である。これに対して、米国産トウモロコシによる CI 値は 90.8g-CO<sub>2</sub>/MJ (この内、ILUC によるものは 25.1g-CO<sub>2</sub>/MJ) である。この数値はジェット燃料の CI 値とほぼ同等で、CO<sub>2</sub> 削減に寄与していないことになる。

次世代バイオエタノール由来の ATJ 法による SAF の CI 値や、廃棄物からの合成ガス由来のバイオエタノールの CI 値が、まだ技術的にも非常に未成熟であるにも係わらずに有利になっている。これに対して、米国産バイオエタノール由来の SAF の CI 値は、ILUC の評価を含めて不当に高いと思われる。現在、この問題に関して米国側は ICAO と協議をしているということである。公正でありかつ合理的な判断が必要である。ただし、発酵工程で排出される CO<sub>2</sub> を CCS により処理することで、CO<sub>2</sub> の排出削減をした場合はこの限りではない。

## 1.5 バイオエタノールの国産化

### 1.5.1 耕作放棄地などの土地利用

わが国は、現在バイオエタノールをほぼ全量輸入している。しかし、エネルギー安全保障の観点からは国産であることが望ましい。最近では輸入バイオエタノール価格とガソリン価格が同等になるところまできている。国産バイオエタノールを考える場合、コメはバイオエタノールの原料として有力な作物の一つである。

2.3 で述べたように、1960 年代半ばにはコメが余りはじめ、1970 年に生産調整 (減反) が始まり、休耕田が増えた。作付面積で考えると、1969 年に 317 万 ha だったが、2020 年には 146 万 ha にまで減少した。この両者の差は約 170 万 ha である。この面積がすべて耕作放棄地になっているわけではなく、一部は田圃を畑に変えて別の作物をつくる転作が進んできた。

耕作放棄地は農林業従事者の調査回答による主観ベースで判定される。遊休農地は農地法で定められた法律用語で、市町村・農業委員会の現地調査による客観ベースで判定される。荒廃農地も遊休農地と同様に市町村の農業委員会による現地調査で判断される農地であり、土地の荒廃が進んで耕作が不可能な土地である。



図 10 耕作放棄地の面積の推移 (1975 年～2015 年)

図 10 は昭和 50 (1975) 年から平成 27 (2015) 年までの耕作放棄地の面積の推移である。5 年毎に行われる農業センサスは現在では行われていない。図 11 は平成 20(2008)年から平成 30(2018)年までの荒廃農地面積の推移である。2020 年の荒廃農地の面積は 28.2 万 ha であり、このうち再生利用が困難とされる土地は 19.2 万 ha となっている<sup>18)</sup>。

ここでは、荒廃農地の再生利用可能な土地を利用した場合と、荒廃農地すべてがバイオエタノール用のコメが栽培されると二通りを想定した。さらに、耕作放棄地の統計に従い、この土地すべてがバイオエタノール生産用に使えるケースも想定した。

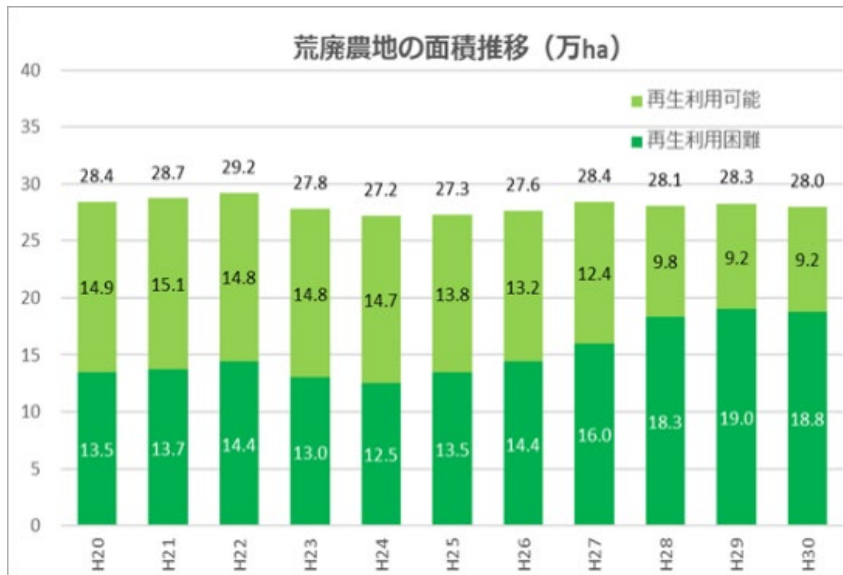


図 11 荒廃農地の面積の推移 (2008 年～2018 年)

#### 1.5.2 バイオエタノール生産

コメ (以下玄米) の単収については、2017 年度から 2021 年度の平均値から、1ha 当たり 5.3t とした。多収米については、農研機構の最近の研究成果から 14 t が可能との報告がある<sup>19)</sup>。ここでは、控えめに現実的な値として 1ha 当たり 10 t として試算した。トウモロコシの単収については、1ha 当たり 9.1t とした。バイオエタノールの収量については、コメの場合は 1 t から 450kL、トウモロコシの場合は 400kL の値を使った<sup>15)</sup>。結果を表 4 に示す。

荒廃農地の再生可能な農地を利用してコメを生産した場合、単収が 5.3 t/ha の食用米では 22 万 kL、14 t/ha の多収米では 57 万 kL のバイオエタノールの生産が可能となる。すべての荒廃農地が利用できるのであれば、それぞれ 67 万 kL、176 万 kL となる。さらに耕作放棄地の利用が可能であれば、それぞれ 100 万 kL と 266 万 kL となる。

トウモロコシの場合は、荒廃農地利用では再生可能な農地だけで 33 万 kL、すべての荒廃農地を利用できれば 102 万 kL 生産でき、さらに耕作放棄地では 154 万 kL が生産できることになる。トウモロコシからのバイオエタノール生産で注目すべきなのは、DDGS が併産できることである。わが国は飼料原料を年間 2,000 万 t 輸入しているが、DDGS が併産できることによって、その一部を置き換えることが可能になり、ひいては食料の自給率を向上させる点でも意味がある。

表4. 荒廃農地と耕作放棄地を利用したバイオエタノール生産

コメ						
農地	荒廃農地				耕作放棄地	
面積	すべて 28万ha		再生可能 9.2万ha		42.3万ha	
	食用米	多収米	食用米	多収米	食用米	多収米
単収 (t/ha)	5.3	10	5.3	10	5.3	10
エタノール 生産量 (万kL)	67	126	22	41	100	190
トウモロコシ						
単収 (t/ha)	9.1		9.1		9.1	
エタノール 生産量 (万kL)	102		33		154	

コストに関しては、北海道バイオエタノールやオエノンで行った事業では、リットル当たり 200 円程度と評価されている<sup>20)</sup>。当時はこの価格はガソリン価格に比べて高かったが、2022 年では輸入品ではあるが、バイオエタノール価格はガソリン価格と同程度になっている。コメへの補助金は必要ではあろうが、国産バイオエタノールの生産コストが高くなっても、当面は混合する割合は数パーセントにとどまると思われる。全体に占める割合は大きくはなく、政策的な支援でそう無理はなく導入されると考える。エネルギーと食料安全保障という視点で、長期的な展望でこの事業を推進していくことが重要である。

### 1.5.3 まとめ

世界は 2050 年のカーボンニュートラルに向けて動いている。わが国の CO2 排出量は全世界の 3%程度ではあるが、第 5 位の水準で推移している。運輸部門では EV、PHV、FCV の導入が進んでいくが、2050 年段階でも内燃機関を搭載した自動車が相当数走行していると思われる。2050 年までの過渡期においては、従来のガソリン車、HV、PHV に少なくともバイオエタノールを 10%直接混合した E10 ガソリンを使うべきである。

国内ではバイオエタノールが生産されておらず、当面は輸入に頼らざるを得ないが、エネ

ルギー自給率の低いわが国にとって、バイオエタノールの国産化を目指すべきと考える。わが国は、食料自給率は40%と低いが、コメだけは自給率は100%を超えている。この結果、耕作放棄地が増えている。この耕作放棄地にバイオエタノール用の多収米あるいはトウモロコシを植えることは、エネルギー自給率の向上とともに、農地の保全にも寄与し食料安全保障にも寄与できる。当面は、製造コストが高く、量としては不十分ではあろうが、このようなエネルギーの国産化を長期的な視点から捉えて、必要な施策がとられることを期待する。

#### 参考文献

- 1) 資源エネルギー庁、エネルギー白書2013、1-1-1 人類の歩みとエネルギー：  
<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2013nhtml/1-1-1.html>
- 2) 国際連合広報センター：[https://www.unic.ot.jp/news\\_press/info/33789](https://www.unic.ot.jp/news_press/info/33789)
- 3) 日本原子力文化財団、エネ百科、きみと、未来と「世界のCO2排出量の推移」：  
<https://www.ene.100.jp>
- 4) Washington Post, 2015年3月24日
- 5) <https://oilprice.com/Energy/Energy-General/Oil-Will-Still-Dominate-The-US-Energy-Market-in-2050.html>
- 6) IRENA, “Global Energy Transportation -A Road to 2050”, 2019, 9
- 7) 農水省資料
- 8) エネルギー・経済統計要覧2022、p.193、理工図書
- 9) IEA, Net Zero by 2050 Report
- 10) 森林・林業白書、令和3年版、林野庁編
- 11) 「石油増進回収法（EOR）とCO2圧入（米国）」,NEDO 海外レポート N0.1078, 2011
- 12) Using Lee et al., p1-14, 10.1002/bbb; Biofuels, Bioprod. Bioref (2021)
- 13) USDA, The Energy Balance of Corn Ethanol:An Update/AER-813, July 2002
- 14) RFA, Corn Ethanol’s Energy Balance Continues To Improve, April, 2022
- 15) 澤一誠、「エネルギー安全保障、ガソリン価格抑制、CO2削減策としてのE10導入の提案」、カーボンニュートラルのための国産バイオ燃料・合成燃料を推進する議員連盟勉強会資料、2022年11月24日
- 16) 経済産業省、「次世代自動車戦略2010」（2010）
- 17) ICAO, CORSIA Default Life Cycle Emissions Values for CORSIA Eligible Fuels, CORSIA, June 2022
- 18) 遊休農地とは？ <https://minorasu.basf.co.jp/80092>
- 19) 未来の食糧危機はコメが救う！？ 収穫量1.5倍の「飛躍的」多収技術 | 未来コトハジメ (nikkeibp.co.jp)
- 20) バイオ燃料生産拠点確立事業検証委員会報告書（2014）



## 2.1 はじめに

バイオエタノールと聞くと、何を最初に思い出すだろうか？ 酒を嗜む方にとっては当たり前前の美味しいアルコール類だろうが、昨今ではコロナ禍でどこでも見かけるようになった消毒用のアルコールかもしれない。あるいは、子供の頃に理科の実験で使っていたアルコールランプを思い出す人もいるだろう。アメリカやブラジル、中国、インド、タイなどでは、「ガソリンにブレンドされたアルコール燃料、ガソホール」が定着しており、E10 や E85 などエタノール混合比率が高い燃料が市販され、当たり前のように利用されている。

バイオエタノールの正確な名称はエチルアルコールであるが、石油や石炭などの化石資源が見つかる前から人類にとって不可欠の化学物質であり、多種多様な用途に使われている。日本では、1973年、1979年の二度にわたる石油ショックで自動車燃料の主体であるガソリン価格の高騰があり、また1990年代の大気汚染や環境問題の影響によりブラジルやアメリカを中心に化石資源ではない植物由来のバイオエタノールをガソリンの代替にするようになってきた。

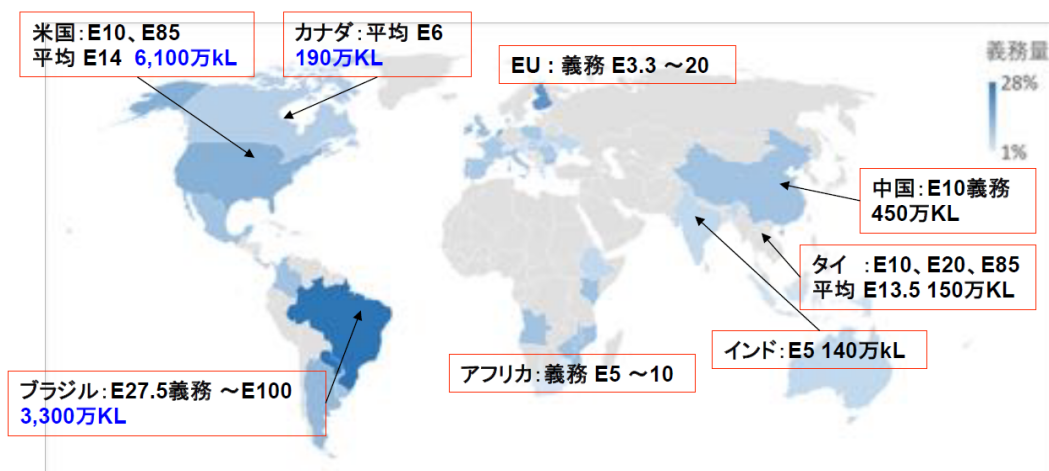
その中で、日本でも2002年のバイオマス・ニッポン総合戦略の閣議決定を経て、バイオマス資源はカーボンニュートラル（燃焼してもまた植物が光合成によって炭酸ガスを吸収するためプラスマイナスゼロ）だから石油等の化石資源の代わりに利用すべしという追い風が吹いた。その後2008年のリーマンショックや石油価格高騰の頃には日本でもE3やE10ガソリンを普及させようと機運が高まったが、2011年の東日本大震災や2012年のFIT（固定買取制度）成立によってバイオマスを含む再生可能エネルギーで電力を賄うべきとの方向に変わり、バイオ燃料への期待は尻すぼみになった感がある。また、量的に石油を代替するには不足し、さらに食料との競合問題も取り沙汰され、持続的な供給可能性が問われている。2020年10月の菅前首相の2050年カーボンニュートラル宣言を契機に、2021年7月のカーボンリサイクル技術ロードマップが改訂され、グリーンイノベーション戦略に基づいた基金によってカーボンニュートラル燃料を含むあらゆる技術の研究開発が加速されている。

本章では、元々は地球温暖化対策の中で輸送用燃料を中心とする石油代替燃料の切り札として注目されたバイオエタノールが、上述したように日本では広まっていない理由を踏まえて、バイオエタノールの国内外の導入状況に基づいて、日本におけるこれまでのバイオエタノールの状況と今後利用拡大に向けて期待される技術開発の方向性を述べることにする。

## 2.2 バイオエタノール導入の国内外の状況

ガソリン車由来の温室効果ガス(GHG)を削減する上で、バイオエタノールは世界的に導入が進められている。その導入状況を図2-1に示した。最大のバイオエタノール消費国であるアメリカは、E10とE85の平均でE14（エタノール14%混合）相当で世界の消費量の半

分以上の 6,100 万 Kl を導入している。ついで、ブラジルの 3,300 万 Kl、中国の 450 万 Kl と続くが、いずれの国においても E10 以上のバイオエタノール混合ガソリンが導入されている。欧州ではディーゼル車が多いが、バイオエタノールを含むバイオ燃料全体への導入義務が課せられている。アジアでも E5～E10 の導入義務が多く、中国では E10 の義務化によってバイオエタノールの消費量が增大している。



**2018年の世界のバイオエタノール消費量は1億1,200万kL(約6兆円の市場規模)**

出典: Biofuels Digest(2020)および USDA の各種レポートより作成

図 2-1 世界のバイオエタノール導入状況 (混合ガソリンとして)

日本でもようやく 2007 年 4 月 27 日から首都圏の 50 カ所のガソリンスタンドで「バイオガソリン」の一般ユーザーへの販売がスタートし、2007 年は日本のバイオエタノール元年と言える年となった。「バイオガソリン」は、エタノールとイソブテンの化合物である ETBE を 7% 含み、レギュラーガソリンと同程度の燃費で、石油元売り各社はレギュラーガソリンと同じ価格で販売し、バイオエタノールと ETBE が不明確な状況ではあったが、「バイオガソリン」の販売開始はバイオ燃料普及の第一歩であった。しかしながら、日本では、2011 年度の原油換算 21 万 Kl(バイオエタノールで約 34 万 Kl)の導入から 2017 年度の原油換算 50 万 Kl(バイオエタノールで約 82 万 Kl)まで徐々に増加したが、2018～2022 年度の 5 年間ではバイオエタノール導入目標量が原油換算 50 万 Kl に留まっており、2023 年以降の目標値も今のところ 50 万 Kl が提示されている状況で、今後のバイオエタノールの導入拡大が実現できるかはなおも不透明である。

ガソリン比GHG削減効果50%、化石エネルギー収支2以上の一貫生産プロセスの最適化

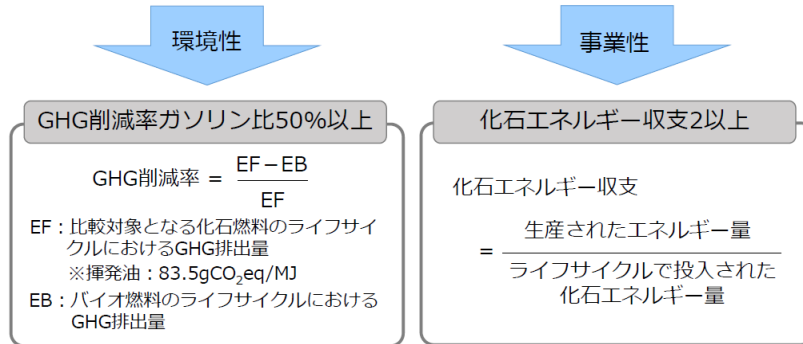


図 2-2 NEDO セルロース系エタノール生産システムにおける GHG 削減率および化石エネルギー収支の定義と目標

図 2-2 に NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）が研究を推進しているセルロース系エタノール生産システムにおける GHG 削減率と化石エネルギー収支の定義と目標を示した。環境性の面からは、ガソリン比の GHG 削減率は 50%以上、事業性の面からは化石エネルギー収支は 2 以上の一貫生産プロセスの最適化が求められている。図 2-2 に基づいて計算されたセルロース系廃棄物原料の場合のエタノール生産システムにおける化石エネルギー収支および GHG 削減効果を図 2-3 に示した。廃パルプ、廃菌床、またはコーヒー粕を原料とした年産 3 万 KI 程度のエタノール生産規模であれば、いずれの原料においても目標の化石エネルギー収支 2 以上、GHG 削減効果 50%以上を達成可能であることを報告している。

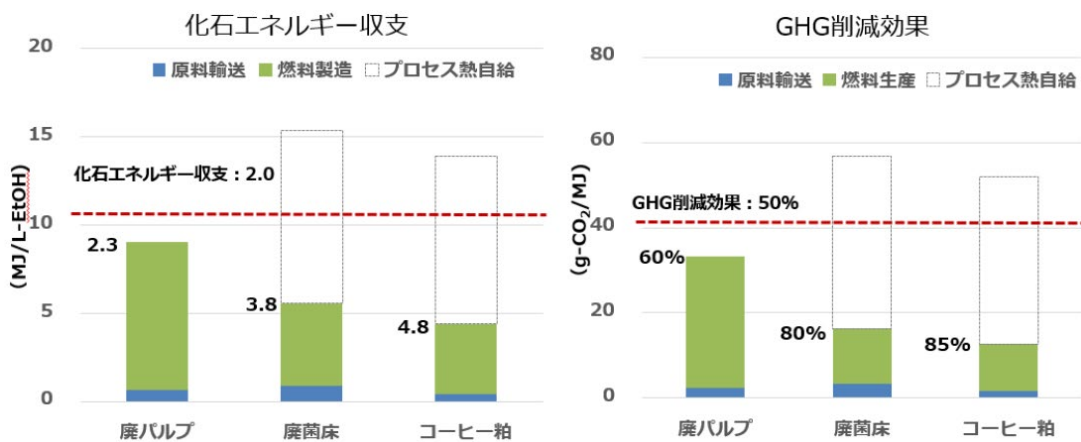


図 2-3 NEDO セルロース系エタノール生産システムにおける化石エネルギー収支と GHG 削減効果の試算例（セルロース系廃棄物原料：B チームの場合）

この後継の NEDO プロジェクトでは、廃パルプ原料からのバイオエタノール生産技術 (B チーム) に基づいた ATJ (Alcohol to Jet Fuel) プロセスの実証による SAF(Sustainable Aviation Fuel)製造技術の開発に展開されている。図 2-4 に NEDO セルロース系エタノール生産システムのビジネスモデル例、およびその際のエタノール製造コスト試算例を図 2-5 に示した。図 2-4 に示したように、海外で早生広葉樹を原料とするパルプ工場に隣接してセルロース系バイオエタノール向上を併設すれば、原料価格を低減し、さらに廃液処理や黒液ボイラー、既存流通インフラ等を共有することによって生産コストをさらに低減できると期待される。その経済性試算によれば、図 2-5 に示したように海外モデルでは 2 万 kL 規模、国内モデルでも 3 万 kL 規模であれば、バイオエタノールの生産コストをブラジルからの輸入価格程度 (約 70 円/L) の目標を達成可能であることが報告されている。

◆ Bチーム / ①海外の廃パルプ利用モデル(実用化時)

- 海外のパルプ工場に廃パルプからのセルロース系エタノール工場を併設する。原料価格の低減と設備の共有化による設備費の削減、既存流通インフラの活用により、コスト競争力を高める。

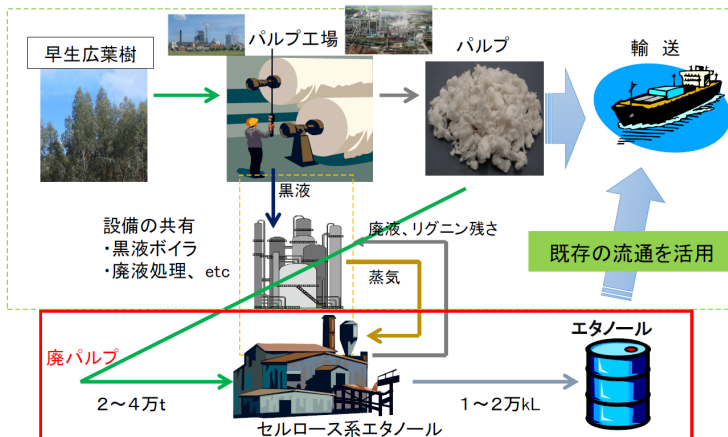
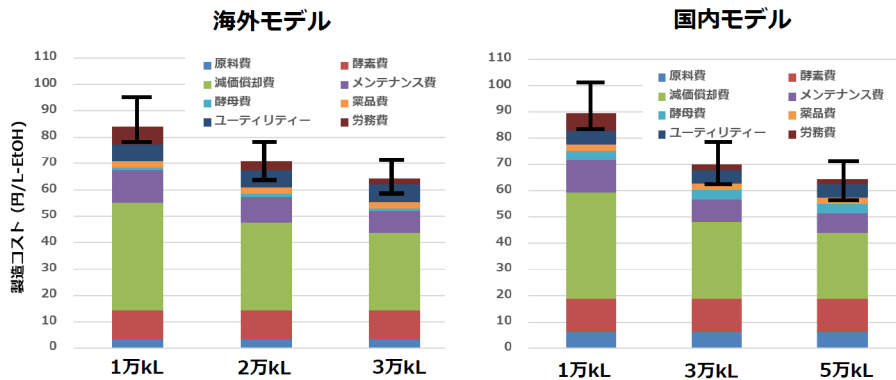


図 2-4 NEDO セルロース系エタノール生産システムのビジネスモデル例

## ◆ Bチーム事業性評価(エタノール製造コスト)

- ・償却年数: 15年、メンテナンス費: 設備費総額の2%(主要機器3%)
- ・コスト下限値: 酵素添加量削減、エタノール収率向上達成見込みケース
- ・コスト上限値: 設備稼働率80%低下ケース



海外モデルで年産2万kL、国内モデルで年産3万kLで展開できれば、  
エタノール製造コスト70円/L未滿を達成可能。

図 2-5 NEDO セルロース系エタノール生産システムの製造コスト試算例

上述したように、石油依存度を低減し、かつ CO2 削減に対する即効性が大きいバイオエタノールをガソリンに混合利用が普及してきている中で、バイオエタノールはオクタン価も高く、E10 程度のブレンドであれば既存の大半のガソリン貯蔵・輸送・スタンドで流通可能で、市販のガソリン車で殆ど問題なく利用できることから、日本でもバイオエタノールのガソリンへの直接混合をスタートさせる時期に来ていると考えられる。

### 2.3 廃棄物由来バイオエタノールからのケミカル及び燃料製造

バイオマスを含む有機系廃棄物のガス化によって得られる合成ガスや CO2 を利用して、微生物や触媒によってバイオエタノールを合成する研究開発も実証段階に近づいている。特に、生ごみや可燃ごみ等の廃棄物資源を回収・循環利用する際に、ガス化してバイオ変換によってバイオエタノールを合成してリサイクルする技術開発が注目されている。

積水化学工業と Lanza Tech 社では、ゴミ処理施設に収集されたごみを分別することなくガス化し、精製された合成ガスから微生物触媒によってエタノールを生産するプロセスを実証し、その事業化を目指している。そのプロセス概要を図 2-6 に示している。このプロセスでは、非セルロース系バイオマスを含む種々の廃棄物から高純度の合成ガスを製造できれば微生物変換によってバイオエタノールを製造できる点が特徴である。非食用セルロース系バイオマスの糖化・発酵プロセスによるバイオエタノール製造法に比べて、より多種・多量のバイオマス資源からバイオエタノールを生産できることから、廃棄物のガス化プロセスとの連結によって、より高い収率かつ低コストでバイオエタノールを製造できるプロセスの実用化が期待できる。

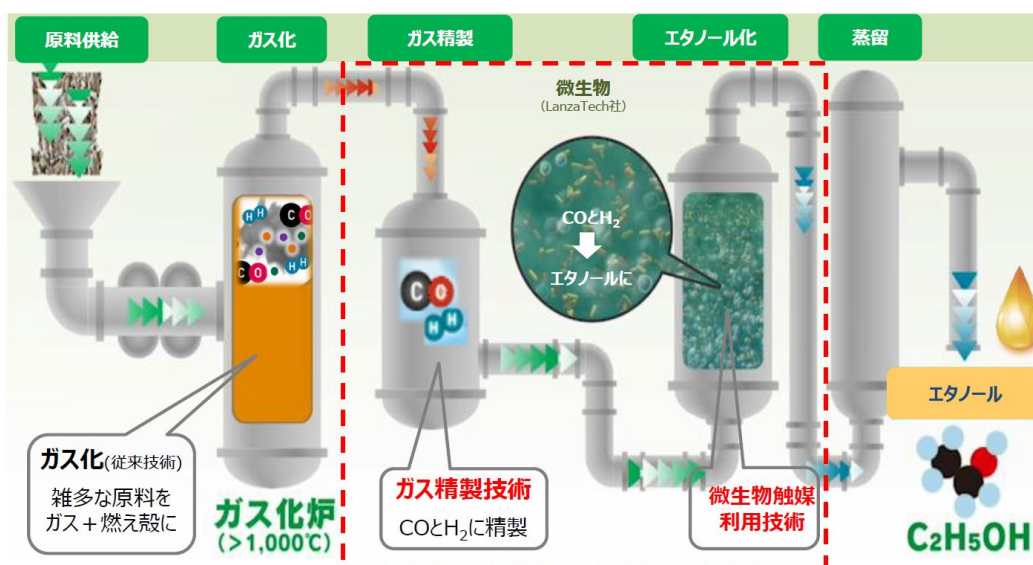


図 2-6 積水化学工業と Lanza Tech 社のゴミからのバイオエタノール製造プロセス

また、バイオエタノールを基幹物質としてジェット燃料を作る ATJ(Alcohol to Jet Fuel) やオレフィン系物質を作る ATO (Alcohol to Olefins) 等の研究開発が注目されており、バイオエタノール原料の用途拡大が図られている。これまでは、石炭やバイオマス等を原料として合成ガスを製造し、メタノールを経由してガソリンを製造する MTG(Methanol to Gasoline)や MTO(Methanol to Olefins)等の C1 化学が主流であったが、非食用バイオマスから製造されるバイオエタノールがカーボンニュートラルであり、かつ C2 化合物であるため、ガソリンブレンド用だけでなくエチレンや C3、C4 化合物等のバイオケミカルやバイオプラスチック原料への利用拡大が進展してきている。

さらに、植物が CO<sub>2</sub> を吸収する自然界の光合成だけでなく、大気中や排ガス中及びメタン発酵やエタノール発酵プロセス等で副生する CO<sub>2</sub> を再利用すれば、カーボンニュートラル及びネガティブエミッションでのバイオ燃料・ケミカル生産技術の構築にもつながると期待される。このようなバイオエタノールプラットフォームによる化学品等の製造スキームを図 2-7 に示している。

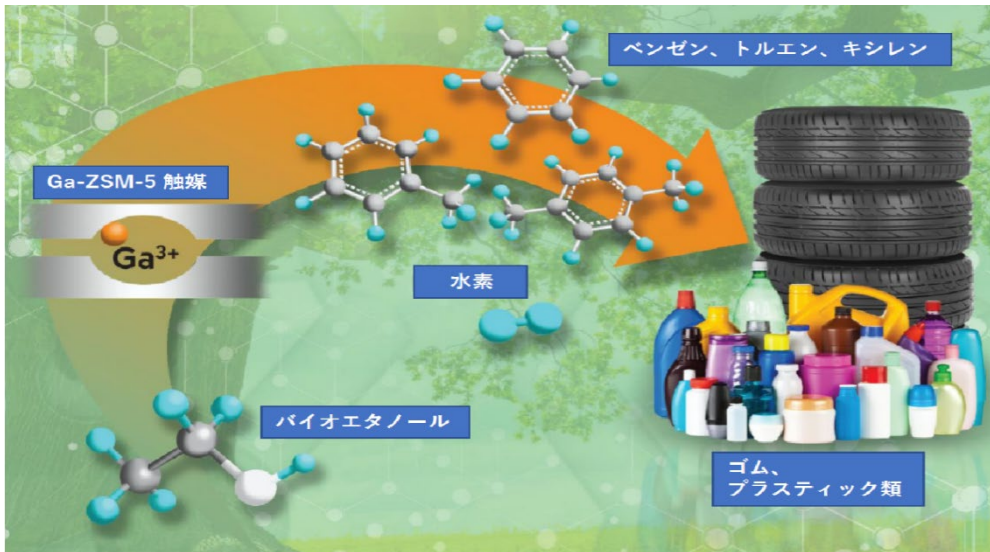


図 2-7 バイオエタノールからの BTX およびゴム・プラスチックの製造スキーム

#### 2.4 非食用バイオマスからのバイオエタノール製造技術

現在の世界のバイオエタノール生産はサトウキビやトウモロコシ、キャッサバ等の食用バイオマスに依存していることから、今後の増産に向けて非食用で未利用の農業残渣や草本系バイオマス等からのバイオエタノール生産技術の開発が進められている。

木質バイオマス資源は、現状では資源量の制約と収集コストが高い等の課題を抱えているが、カーボンニュートラルでかつクリーンな再生可能資源であることから、石炭、石油等の化石資源の利用によって起因している環境問題（SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub> 等の排出による酸性雨問題や炭酸ガス排出による地球温暖化）を軽減できる大きなポテンシャルを有している。このような観点から、環境負荷が大きい石炭や石油を代替するバイオマス資源のエネルギー利用の可能性が期待されている。

図 2-8 に、バイオマス・ニッポン総合戦略におけるバイオマス量と導入イメージを示した。この総合戦略の大きな特徴は、廃棄物系バイオマス、未利用バイオマス（林地残材や非収穫部など）、資源作物（サトウキビなど）、新作物（海洋バイオマスや遺伝子操作など）の 4 つに分類し、導入時期を 4 つに分けたこと、カスケード利用によるバイオマスリファイナリーの実現を提案していること、技術開発や導入目標の数値目標を掲げたことなどにある。廃棄物系バイオマスには古紙、家畜排せつ物、食品廃棄物、建設発生木材、製材工場残材、黒液（パルプ工場廃液）、下水汚泥、し尿汚泥などの廃棄物が含まれ原油換算で 2400 万 kl あると推計されている。未利用バイオマスは、稲わら、麦わら、もみ殻、林地残材（間伐材、被害木等）などの現在収穫していないものであり、550 万 kl あると推計されている。資源作物は現在の未利用地や未利用森林を利用したバイオマスの積極的な生産を行うことで 550 万 kl 生産できると推計されている。新作物は将来の遺伝子改良作物などを含むが、量的規模は未定である。

木質系バイオマスの主要な構成成分はセルロース、ヘミセルロース及びリグニンである。木質系バイオマスからエタノール等液体燃料を製造するためには、セルロースやヘミセル

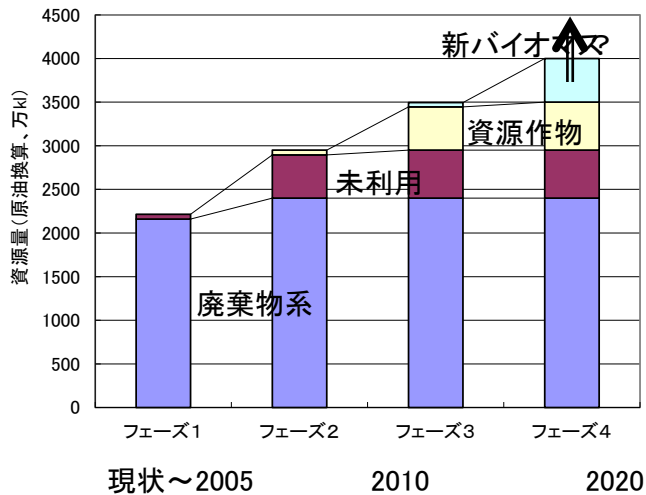


図 2-8 バイオマス量と導入イメージ

ロースを構成単糖にまで加水分解（糖化）し、発酵によってエタノールに変換する必要がある。従来、木質の糖化では硫酸法が用いられていたが、環境負荷が高く収率が向上しないという課題があり、低環境負荷・高収率が期待できる加圧熱水とメカノケミカル前処理と酵素糖化を組み合わせたエタノール製造技術および成分分離したリグニンの有効利用によるバイオリファイナリー総合利用システムの確立を目指している（図 2-9 参照）。さらに、種々のバイオマス資源の導入・普及には、経済的に成り立つトータルシステムが必要であることから、種々のバイオマス資源をデータベース化し、バイオマスシステムのプロセスシミュレーション技術を開発するとともに、シミュレータを用いた最適化と経済性・環境適合性評価を行うことにより実用化可能なバイオマストータルシステムを提案している。



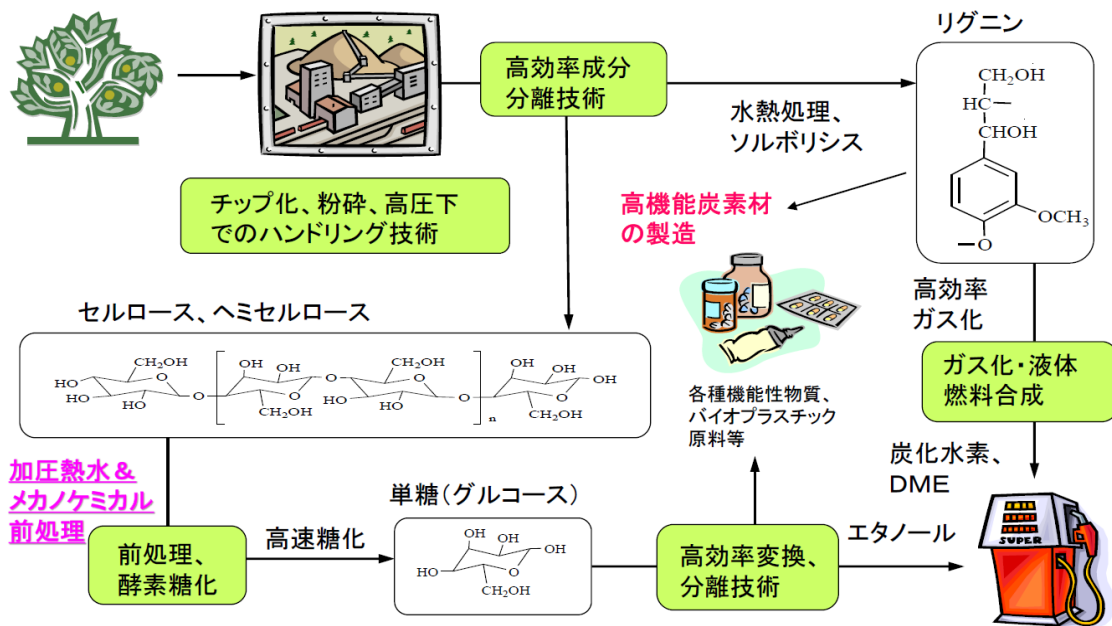


図 2-9 木質系バイオマスの成分分離によるバイオリファイナリー総合利用システム

木質系バイオマスを酵素糖化するためには、木質の前処理技術が重要で、100°C以上の加圧熱水を用いた水熱処理およびメカノケミカル処理を複合化することにより、木質構成成分を分離して、低コスト・高効率での木質の活性化技術について研究開発を行っている。メカノケミカル処理した木質では、酵素糖化性が大きく向上する。酵素糖化法で得られた単糖は、セルロース由来のグルコースおよびヘミセルロース由来のキシロース等から構成されるが、エタノール発酵に用いられる微生物は通常キシロースをエタノールに変換できないため、エタノールの高収率化を目指して、酵素糖化に最適な条件下、木質前処理物の糖化および生成したキシロースとグルコースの発酵が同一槽内で行える高温エタノール発酵微生物の育種を行い、さらにエタノール吸着剤を用いて発酵中のエタノールを連続的に回収する発酵リアクターの研究開発を行っている。そのような次世代のバイオエタノール生産システムを模式的に図 2-10 に示している。このような革新的なバイオエタノール生産プロセスが実現できれば、針葉樹系の木質バイオマスだけでなく、キシロースの割合が多い広葉樹や稲わら、麦わら等の農業残渣の糖化・発酵も可能となり、究極的なエタノール収率が達成できると期待される。

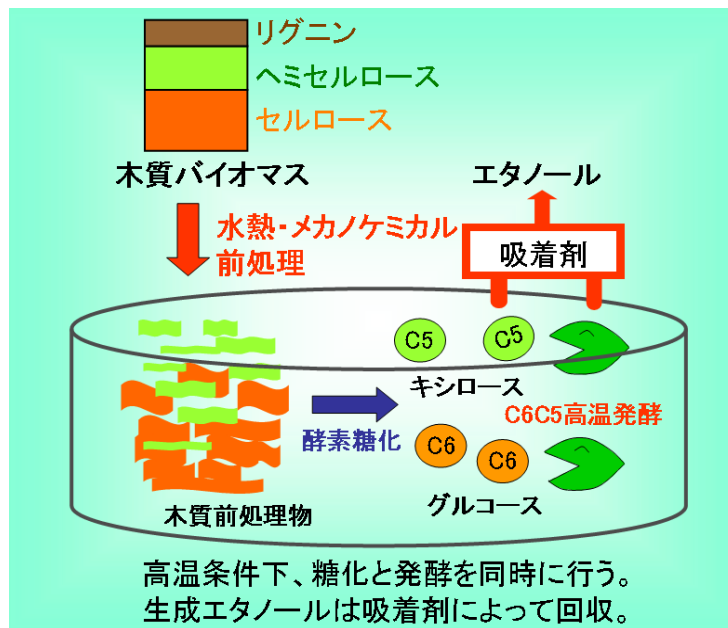


図 2-10 木質バイオマスからの高効率エタノール製造スキーム

木質バイオマス等のエネルギー利用は、第一義的には石炭、石油、天然ガス等を代替することによって化石資源の使用量を削減し、その結果として炭酸ガス排出量を低減することが必須である。バイオマス資源はカーボンニュートラルであるものの、無制限に使用できる量は無く、あくまでも未利用のエネルギー資源としての用途開発により化石資源の節約と地球温暖化防止につなげることが求められる。

特に日本では、石油を中心とする化石資源が殆どなく、エネルギー自給率が 10 % 足らずの日本にとっては、このようなバイオエネルギーの導入によるエネルギー自給率の向上のみならず、森林資源の有効利用や地球環境保全の面からもプラス効果は大きいといえよう。

大規模集中型の利用促進には、国家的コンセンサスおよび世界情勢に基づいた日本としての戦略的導入シナリオと高効率転換プロセス開発が不可欠である。これは、決して短期的なビジョンにとどまらず、日本におけるエネルギー需要見通しと地球環境保全（温暖化対策を含む）目標に基づいた、21 世紀の炭化水素系エネルギー資源の安定供給を可能にするバイオマス全体の高効率利用プログラムを策定し、今後の研究開発の優先順位を決定しておく必要がある。

長期ビジョン（2050 年頃を目標）では、例えば、海外、特に東南アジア地域からのバイオ燃料の開発輸入も含めたトータルシステムの提案を念頭に置いたバイオマス利用の促進シナリオも想定しておくのが重要である。

## 2.5 バイオエタノールの普及拡大に向けて

バイオエタノールの普及拡大には経済性と環境適合性と共により、持続可能なバイオマス

ータル利用システムを構築することが必要である。バイオマスの原料特性だけでなく、バイオ燃料製造プラントのロケーションや規模等に応じて、熱電併給可能なエネルギー自立型バイオエタノールの製造に加えて、他の高付加価値なバイオケミカル等を併産することも経済性向上のためには重要である。

また、量的な制約があるバイオマス資源を循環的に利活用しながら、持続可能な生産と消費を実現すると共に、バイオマスのエネルギー利用で排出される炭酸ガスを回収・再利用するためのネガティブエミッション技術を確認することが期待されている。バイオマス発電から排出されるCO<sub>2</sub>回収(BECCS: Bio-energy with Carbon Capture and Storage)に加えて、バイオエタノール発酵やメタン発酵プロセスで副生するCO<sub>2</sub>を回収・再利用して合成ガスからバイオエタノールや合成燃料を製造するプロセス(BECCU: Bio-energy with Carbon Capture and Utilization)の研究開発も進められている。図2-11に、2021年7月に改訂されたカーボンリサイクル技術ロードマップを示している。液体燃料については、CO<sub>2</sub>と再生可能エネルギー由来水素から製造されるe-fuelだけでなく、SAFやMTG(Methanol to Gasoline)が追加され、カーボンニュートラルかつオクタン価の高いバイオエタノールは、既に世界的に導入が進んでいるため、ゼロカーボンのEVやFCV等が大量に普及するまでは、HVやPHVのエンジン用カーボンニュートラル燃料としての重要性が再認識されている。

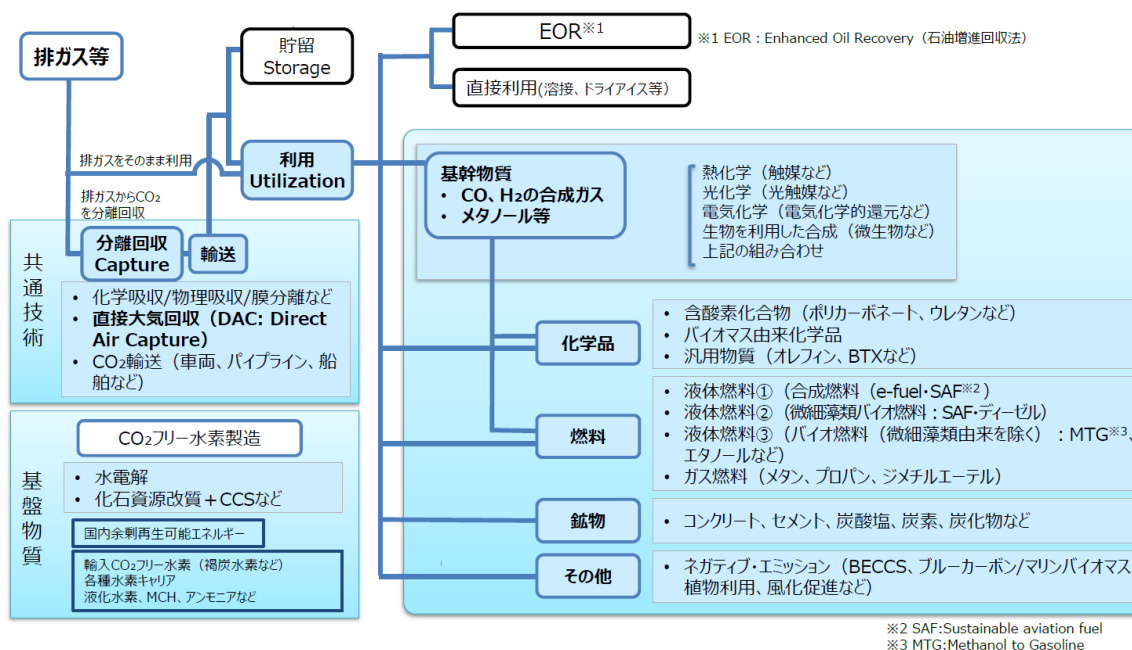


図2-11 カーボンリサイクル技術ロードマップ(2021年7月改訂版、経済産業省)

図 2-12 に、カーボンリサイクル技術ロードマップにおけるバイオ由来燃料及びバイオ化学品等の生成フローを示している。従来の植物油や廃食油由来のバイオディーゼル燃料に加えて、微細藻類由来のバイオディーゼル燃料やバイオジェット燃料が位置付けられている。

さらに植物等のバイオマスが CO<sub>2</sub> を吸収する光合成だけでなく、メタン発酵やエタノール発酵プロセス等で副生する CO<sub>2</sub> を再利用すれば、カーボンニュートラル及びネガティブエミッションでのバイオ燃料・ケミカル生産技術の構築にもつながると期待される。

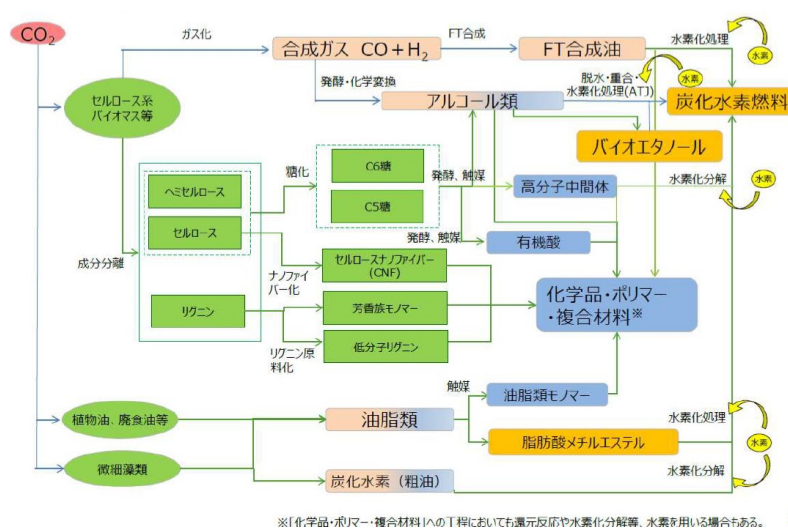


図 2-12 カーボンリサイクル技術ロードマップでのバイオ由来燃料及び化学品等の生成フロー

## 2-6. まとめ

バイオエタノールやバイオディーゼル燃料(BDF)に代表されるバイオマス由来の液体燃料の製造技術は石油代替エネルギー開発の観点から非常に重要で、特に自動車燃料の大半を賄っているガソリン燃料へのエタノール添加によって、国内外で輸送用燃料から排出される CO<sub>2</sub> の削減に大きく貢献できると期待される。

2050 年カーボンニュートラルに向けて、バイオ燃料の普及拡大への方策案として、

- ・バイオ燃料の供給・利用インフラ構築および国産バイオ燃料へのインセンティブ付与
  - ・未利用の森林資源や農業残渣、食品廃棄物等のリサイクル利用による国内でのバイオ燃料生産
  - ・CO<sub>2</sub> 吸収速度の大きい植物の育種ならびにその革新的な転換技術開発によるバイオ燃料増産
- が挙げられる。

### (参考文献)

- 1) 森山亮、澤一誠：わが国における運輸部門の CO2 排出削減に対するバイオエタノール導入の効果,季報エネルギー総合工学, 第 43 巻, 第 4 号, pp.1-9 (2021)
- 2) 澤一誠、CO2 削減策としてのバイオマスエネルギー導入戦略、石油学会新エネルギー部会講演会資料(2021.1.19)
- 3) J.Lane, “The Digest’ Biofuels Mandates Around the World 2020”, Biofuels Digest, 2020. (<https://www.Biofuelsdigest.com/bdigest/201912/31/the-digests-biofuels-mandates-around-the-world-2020>)
- 4) NEDO・技術戦略研究センター (TSC) : 技術戦略レポート、TSC Foresight, Vol.21(2017).
- 5) S.Geyleynse, K.Brandt, M. Garcia-Perez, M.Wolcott, X.Zhang, ChemSusChem. 2018, 11, 3728-3741.
- 6) 「セルロース系エタノール生産システム総合開発実証事業(2014-2019 年度)」公開資料 (2017.11)
- 7) 岩本隆、日本における低炭素社会実現のためのバイオエタノール使用・生産の普及に向けて～直接混合方式の優位性を中心に～、日本パブリックアフェアーズ協会 (2019 年 3 月)
- 8) 農林水産省・バイオ燃料技術革新協議会：バイオ燃料技術革新計画(2008).
- 9) 三菱総合研究所、平成 28 年度石油産業体制等調査研究 (バイオ燃料を中心とした我が国の燃料政策の在り方に関する調査) (バイオエタノール関連) 報告書、経済産業省資源エネルギー庁ホームページ(2017.3.31)
- 10) 吉岡拓如、平田悟史、松村幸彦、坂西欣也、木質バイオマスのポテンシャルとエネルギー利用の可能性、J.Jpn.Inst.Energy, 81(4), p.241(2002)
- 11) きちんとわかる木質バイオマス、産総研ブックス (2009)
- 12) 坂西 欣也、バイオマスからの液体燃料の製造と利用に関する研究動向、ペトロテック, 29-2, pp.139-143 (2006).
- 13) 福田 哲久, 黒田正範, 藤本真司, 佐々木義之, 坂西欣也, 美濃輪智朗, 矢部彰, エネルギー・資源, 27-4, pp.43-48 (2006).
- 14) NEDO・技術戦略研究センター (TSC) : 技術戦略レポート、TSC Foresight, Vol.37 (2020).
- 15) 積水化学工業, ”ごみ“を”エタノール“に変換する世界初の革新的生産技術を確立 (2017.12.6); [https://www.sekisui.co.jp/news/2017/1314802\\_29186.html](https://www.sekisui.co.jp/news/2017/1314802_29186.html)
- 16) 経済産業省・カーボンリサイクル技術ロードマップ (2021 年 7 月改訂版)

### 第3章 バイオ燃料をメディアはどう報じたか

コンサルタント 内野 尚

#### 3.1 はじめに

石炭、石油、バイオ燃料、原子力など、エネルギーについての人々の受け止め方は、その時代の政治経済や社会状況の影響を受けて変わり、時期によって、積極的・肯定的な捉え方や否定的・懐疑的な捉え方が交替する。当然、バイオエタノールも例外ではない。

本章では、これまでのバイオエタノールをめぐる国内外の動向と報道の推移を整理するとともに、今後我々がバイオエタノールをどのようにとらえるべきか考察する。

#### 3.2 バイオエタノールをめぐる国内外の動向

##### (1)政策動向

バイオエタノールの利用は古くから行なわれており、1919年には米国でT型フォードの燃料にバイオエタノールが使用され、1930年代にはブラジルでガソリンへのバイオエタノール混合（5%）の義務づけが開始された。

しかし、バイオエタノールの利用が本格化するのは1970年代に入ってからであり、石油ショックと大気汚染防止、公害対策の流れの中でクリーンな燃料としてのバイオエタノールが注目された。1990年代からは、地球環境問題に対する国際的な意識の高まりを受けて、再生可能エネルギー、バイオマス利用の機運が高まった。2000年代に入ると、各国でバイオエタノール利用促進の政策が次々と導入された。米国では、2005年に大気汚染防止とエネルギーの自給度向上を意図して、トウモロコシを原料とするバイオエタノールの生産を推進する政策が開始された。日本では、2002年にバイオマス・ニッポン総合戦略が打ち出された。

表3-1 バイオエタノールをめぐる国内の政策動向

年	海外	日本
1919	T型フォードの燃料にバイオエタノールを使用（米国）	
1931	ガソリンへのバイオエタノール混合（5%）の義務づけ（ブラジル）	
1973	第一次石油ショック	
1977	Clean Air Act（大気清浄法）改正（米国）	
1990	Clean Air Act Amendment（改正大気清浄法）施行（米国）	
1992	エネルギー政策法（米国）	
1994		環境基本法
1997	White Paper - Energy for the Future; Renewable Sources for Energy（EU）	
2000	Green Paper - Towards a European Strategy for the Security of Energy Supply（EU）	
2001		循環型社会形成推進基本法
2002	トウモロコシ、小麦からのバイオエタノール製造が本格化（中国） 2002年農業法（米国）	バイオマス・ニッポン総合戦略
2003	自動車用バイオ燃料導入に関する指令（EU）	
2005	京都議定書発効	
2005	Energy Policy Act of 2005（エネルギー政策法）成立（米国）	
2009		エネルギー供給構造高度化法
2011		東日本大震災
2012		FIT（再エネ固定価格買取制度）施行
2015	国連 持続可能な開発のための2030アジェンダ（SDGs）	
2017	Sustainable Aviation Fuels Guide Ver.1（ICAO）	
2019		カーボンリサイクル・ロードマップ
2020		2050年カーボンニュートラル宣言

(出典) 小泉達治 2007 『バイオエタノールと世界の食料需給』、CN<sup>2</sup>燃料の普及を考える会 2022 『図解でわかるカーボンニュートラル燃料』、その他関連資料をもとに作成

## (2) バイオエタノールの ELSI に関する議論の動向

ELSI とは、倫理的・法的・社会的課題 (Ethical, Legal and Social Issues) の頭文字からなる略語で、一般にはエルシーと読まれることが多い。ELSI は、新しい技術を社会で実用化する時に生じる技術面以外の課題全般を指す。

バイオエタノール自体は古くからの技術であるが、21 世紀のバイオエタノールは様々な新技術を活用し、その規模も大規模化していることから、バイオエタノールを取り巻く ELSI についても関心が向けられるようになった。2000 年代前半からのバイオエタノールの ELSI に関連するトピックスを表 3-2 に示す。2000 年代に入り、各国でバイオエタノール利用が活発化するにともない、トウモロコシ、サトウキビ等のバイオマスからバイオ燃料を製造する際の食料との競合についての議論が提起されるようになった。2008 年 6 月の「食料サミット」(世界の食糧安全保障に関するハイレベル会合) では、バイオ燃料が世界の食糧需給に与える影響について議論された。

表 3-2 2000 年代前半からの ELSI 関連のトピックス

年 月	概 要
2005~2008年	・ 国際原油価格の高騰 ・ 国際穀物価格の高騰 (2006年秋~2008年夏)
2008年6月	・ 「食料サミット」 (世界の食糧安全保障に関するハイレベル会合) においてバイオ燃料が世界の食糧需給に与える影響について議論
2008年7月	・ 「洞爺湖サミット」 (主要国首脳会議) においてバイオ燃料と食糧需給の関係について議論 ・ バイオ燃料の持続的な生産・使用に関する施策と食料安全保障の両立を確保し、非食用植物や非可食バイオマスから生産される第2世代バイオ燃料の開発と商業化を加速することを決議
2008年	・ FAO報告書「FAO世界食糧農業白書2008年：バイオ燃料、見通し、リスクと機会」
2011年	・ ナフィールド生命倫理評議会 (Nuffield Council on Bioethics) が報告書「バイオ燃料：倫理的問題」"Biofuels: ethical issues"を公表 ・ Science誌のPolicy Forumでも紹介
2011年	・ 米国 National Academy of Sciences の報告書「Renewable Fuel Standard: Potential Economic and Environmental Effects of U.S. Biofuel Policy」
2013年6月	・ FAO世界フードセキュリティ委員会「バイオ燃料とフードセキュリティ」
EU	・ バイオ燃料用原料の需要増加にともなう社会的影響について定期的に報告書を作成

(出典) 小泉達治 2007 『バイオエタノールと世界の食料需給』、CN<sup>2</sup>燃料の普及を考える会 2022 『図解でわかるカーボンニュートラル燃料』、その他関連資料をもとに作成

同年 8 月に北海道で開催された主要国首脳会議 (洞爺湖サミット) でも、バイオ燃料と食

糧需給の関係について議論が行なわれ、「バイオ燃料の持続的な生産・使用に関する施策と食料安全保障の両立を確保し、非食用植物や非可食バイオマスから生産される第2世代バイオ燃料の開発と商業化を加速すること」が決議された（表3-3）。

表3-3 洞爺湖サミット（2008年）におけるバイオ燃料に関する決議

3. 農林水産関連の概要	
(1) 食料安全保障：宣言文書本体と独立した声明文書として整理された。	
1. 総論	G8として、FAOハイレベル会合やTICAD IV等の国際的なフォーラムの成果を歓迎。特に、「幅広い中長期的な措置の必要性、特に、 <u>世界の食料生産を促進し、農業投資を増加させる重要性を完全に認識する</u> 」と記述。
2. 輸出規制	輸出規制を撤廃すること、及び <u>こうした貿易行為に対するより厳格な規律を導入するためWTO交渉を加速化することが必須である旨記述。</u>
3. バイオ燃料	<u>バイオ燃料の持続的な生産・使用に関する施策と食料安全保障の両立を確保。非食用植物や非可食バイオマスから生産される第2世代バイオ燃料の開発と商業化を加速。</u>
4. 途上国に対する支援	G8として、本年1月以来食糧支援等に100億米ドル以上をコミットしたことを確認した上で、残された緊急の人道ニーズを満たすため、G8と共にコミットメントを行うよう他のドナーに呼びかけ。 中長期的な取組として、 <u>5年から10年でアフリカ諸国の主要食料生産を倍増する、農業関連の研究開発と途上国の新世代の科学者及び専門家の訓練を促進する旨記述。</u>
5. 食料備蓄システム	<u>十分な食料備蓄のある国々が余剰分の一部を食料不足の国々のために使うよう呼びかけること、人道目的のための「仮想」備蓄システムの構築の是非を含め、備蓄管理のための調整された手法についての選択肢について検討する。</u>
6. 食料品市場の監視	関連機関による各種食料品市場の監視を支援する旨記述。
7. 今後のフォローアップ	この宣言の約束の実施をモニターするとともに、国連など他の関係者との協力のあり方の特定を行う機関として、 <u>G8専門家グループを設置。</u>
8. 農業大臣会合	「我々の農業大臣に、世界の食料安全保障に関する適切な提案の形成に寄与するための会合を開くことを求める」と記述。

出典) [https://www.maff.go.jp/j/kokusai/kokusei/kanren\\_sesaku/080710\\_summit.htm](https://www.maff.go.jp/j/kokusai/kokusei/kanren_sesaku/080710_summit.htm) l

洞爺湖サミットが開催された2008年前後はバイオエタノールをめぐるELSIの議論が活発に行なわれた時期であり、2011年には英国ナフィールド生命倫理評議会による報告書「バイオ燃料：倫理的問題」(Biofuels: ethical issues)が公表されている。ナフィールド生命倫理評議会(Nuffield Council on Bioethics)は、1991年にナフィールド財団により設立された組織で、1994年からはナフィールド財団、医学研究評議会(Medical Research Council、MRC)、ウェルカム財団により資金援助を受けている。

この報告書では、バイオ燃料に関する倫理ガイドライン(Ethical Guideline)として以下の6項目をあげている。このガイドラインは、バイオエタノールを含むバイオ燃料全般に関わるELSI面の議論を包括的にまとめたガイドラインになっていると言える。

■バイオ燃料に関する倫理ガイドライン■

1. バイオ燃料の開発は、人々の本質的な権利(十分な食料・水へのアクセス、健康な生活の権利、労働権、土地に関する権利等)を犠牲にしてはならない。



2. バイオ燃料は環境面で持続可能でなければならない。
  3. バイオ燃料は、温室効果ガスの正味の削減に貢献すべきであり、地球温暖化を悪化させてはならない。
  4. バイオ燃料は、構成な貿易の原則と調和を保って展開されなければならない、人々の公正な報酬（労働権、知的所有権等）の権利を認めなければならない。
  5. バイオ燃料のコストとベネフィットは公平なやり方で分配されなければならない。
  6. 最初の 5 つの原則が尊重され、バイオ燃料が危険な気候変動の緩和に重要な役割を果たせるならば、追加的な重要検討事項にもとづき、そうしたバイオ燃料を開発する義務が生じる。
- 追加的な重要検討事項は、コスト（絶対額）、代替エネルギー源、機会費用、現状の不確実性の程度、不可逆性、参加の程度、適切なガバナンスの包括的概念である。

（出典）

[https://www.nuffieldbioethics.org/wp-content/uploads/2014/07/Biofuels\\_ethical\\_issues\\_FULL-REPORT\\_0.pdf](https://www.nuffieldbioethics.org/wp-content/uploads/2014/07/Biofuels_ethical_issues_FULL-REPORT_0.pdf)

### （3）バイオエタノールの社会受容に影響を与える影響

バイオエタノールを含むバイオ燃料の社会受容に影響を与える要因については、これまでいくつかの研究が行なわれている。

F.Dessi et al. (2022) では、EU のステークホルダーを対象にバイオ燃料の社会受容について調べている<sup>1</sup>。この中では、過去の調査結果のレビューにもとづき、バイオ燃料の社会受容に与える要因が以下のように整理されている（表 3-4）。

バイオ燃料をめぐる議論では、食料 vs 燃料といった側面がしばしば強調されるが、これ以外にも様々な要因が社会受容に関係している。

表 3-4 バイオ燃料の社会受容に影響を与える要因

分類	具体的要因
技術的側面	燃料の性状、既存のエンジン・石油施設との適合性、インフラストラクチャ、原料、土地利用の変化、排出物、環境影響
経済的・市場的側面	価格、食料価格、市場での利用可能性、地方の開発
政策・行政的側面	規制政策、支援プログラム
社会・心理学的側面	個人の知識、経験、効率性、価値観、信頼性、規範、公正さ、土地への愛着

（出典）参考文献 1）にもとづき作成

### 3.3 バイオエタノールに関するメディアの動向

#### (1) 出版データに見るバイオエタノールに関する論調

日本で出版された書籍のデータを調べると、バイオエタノールを中心的なテーマとして取り上げた書籍は21世紀に入り、バイオ燃料の利用の機運が高まった頃から出版されるようになった。

出版物に関するデータベースを検索してバイオエタノールに関連する書籍（専門家向けの学術書を除く）を調べると、下表の通り、2007年、2008年頃に、バイオエタノールの得失について議論する書籍が多く出版されている。これらの書籍では、燃料と食料の競合、穀物価格に与える影響、バイオエタノール利用の正味のCO<sub>2</sub>（二酸化炭素）削減効果などが論じられている。科学的なデータに立脚して論じるもの、ややセンセーショナルに論じるものなど、その論調は様々であるが、この時期はバイオエタノールを含めたバイオ燃料について、一歩立ち止まって、その利用のあり方を問い直そうとする動きが高まった時期と言える。

表3-5 バイオエタノールに関する一般向け書籍の出版状況

タイトル	出版社	著者	出版年
バイオ燃料	コモンズ	天笠啓祐	2007
バイオエタノールと世界の食料需給	筑波書房	小泉達治	2007
バイオマスは地球環境を救えるか	岩波ジュニア新書	木谷収	2007
“風力よ”エタノール化からトウモロコシを救え	パワー社	村原正隆、関和市	2007
燃料か食料か	日本経済評論社	坂内久、大江徹男	2008
バイオ燃料で、パンが消える	PHP研究所	武田邦彦	2008
世界の穀物需給とバイオエネルギー	農林統計協会	梶井功	2008
バイオ燃料と国際食料需給	農林統計協会	小泉達治	2009
幻想のバイオ燃料	B&Tブックス	久保田宏、松田智、日刊工業新聞社	2009
穀物をめぐる大きな矛盾	筑波書房	佐久間智子	2010
変容する途上国のトウモロコシ需給	アジア経済研究所	清水達也	2011
グローバル視点から考える世界の食料需給・食料安全保障	農林統計協会	小泉達治	2017
漫画でわかるバイオエタノール	幻冬舎	石川森彦、アメリカ穀物協会	2022

(出典) インターネット書籍検索サイトをもとに作成

#### (2) 新聞報道に見るバイオエタノールに対する論調

##### ○経済紙における論調

日経新聞の記事データベース（日経テレコン）を用いて、過去20年間の日経新聞記事データベースから一般用語「バイオエタノール」を含む記事を検索した（表3-6、図3-1）。表3-6では、主な見出しやキーワードも併せて掲げた。検索に当たっては、人事、組織変更といった単なる通知は除外し、実質的な内容を有する記事のみをピックアップした。バイオエタノールに関連する用語としては、バイオ燃料などもあるが、検索語としてバイオエタノールを用いることにより、件数は少なめになるものの、バイオエタノールに関連する記事をピンポイントで検索し、その傾向を把握することが可能になる。

バイオエタノールに関連する新聞記事の推移を見ると、「バイオエタノール」という用語は 2000 年頃から本格的に見出しに登場するようになる。2003 年には、「動き出すバイオ燃料」として、日本政府の動きが報道されるようになる。木質系バイオエタノール等の関連する技術開発の記事も増加する。その後、2005 年から 2008 年にかけて記事の件数はピークに達する。

2007 年頃からは、食料と燃料の競合という見出しが散見されるようになり、並行して非食用バイオマス、非食用植物といった用語が見出しに採用されるようになる。また、コメからのエタノール製造に関する記事もしばしば紙面に登場する。

その後、2010 年以降は記事の件数も減少するが、航空燃料への利用という新たなトピックスが登場し、現在に至っている。2011 年 3 月 11 日に東日本大震災が発生し、2012 年には再生可能エネルギーの固定価格買取制度（FIT 制度）がスタートした。このような大きな出来事があったことも、2010 年代のバイオエタノール関連の報道の減少の一因と考えられる。

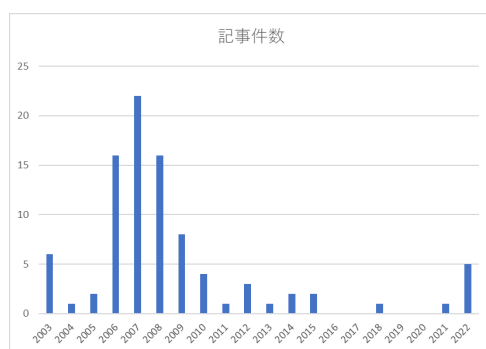


図 3-1 バイオエタノールに関する記事の推移（経済紙）

（出典）日経テレコン検索結果をもとに作成

表 3-6 バイオエタノールに関する記事の推移（経済紙）

年	記事件数	主な見出し、キーワード
2003	6	動き出すバイオ燃料、バイオエタノールの CO2 削減効果ハイブリッド車より上、バイオエタノール混合ガソリン
2004	1	バイオエタノール活用、混合ガソリン、環境省実験
2005	2	木質系バイオエタノール、木くずからエタノール製造
2006	16	バイオエタノール燃料、実証試験、サトウキビ、トウモロコシ、小麦、環境影響評価、ワラからエタノール、食用部分使わず供給、政府国産バイオマス燃料普及へ工程表、バイオマス燃料事業組合
2007	22	ブラジルも 7 年で倍増（サトウキビ作付面積 1.5 倍に）、建設廃材、米国一般教書演説、給油所で混合可能に、セルロース活用、穀物価格何故あがる、トウモロコシ高、エタノール混合ガソリン、ワラ・籾がら、発酵菌、バイオガ

		ソリン出荷始まる、首都圏で販売、食料原料での生産に限界、休耕田を有効活用
2008	16	休耕田、米原料に生産、トウモロコシの茎でエタノール、食料価格高騰はバイオ燃料の影響「軽微」、食か飼料か燃料か、“非食料”開発競争、OECD 報告「食料との競合回避を」、非食料でも安く製造、燃料植物、多収穫米
2009	8	非食料でエタノール生産、国産米使うバイオ燃料、バイオ燃料は製造時に CO2 排出（気になる真実）、E10 排ガス基準策定へ、食料との競合回避
2010	4	航空など用途開発、国産バイオ燃料補助金頼み、E10 燃費に不安、トウモロコシ高騰の一因に
2011	1	バイオエタノール、非食料原料で相次ぎ実証実験 <b>※2011年3月11日 東日本大震災</b>
2012	3	高騰の穀物原料回避、穀物高騰や生産効率が課題、タピオカ絞るかす
2013	1	ミドリムシがジェット機飛ばす、18-20 年にも実用化
2014	2	非食用原料の活用拡大、バイオ燃料実結ばずに研究組織解散
2015	2	バイオ燃料の本格活用（化石燃料枯渇や CO2 問題に対応）、バイオエタノール転換点、米、燃料需要停滞やシェール生産増、トウモロコシ価格に影響も
2016	0	
2017	0	
2018	1	イラン制裁、砂糖高値招くーインドもバイオ燃料増産計画。
2019	0	
2020	0	
2021	1	トウモロコシ・サトウキビ・大豆油…、バイオ燃料が呼ぶ一段高、食用・飼料用と競合激化も。
2022	5	非食料系増産へ政策後押し（米）、航空燃料に植物由来原料、再生航空燃料、非食糧でバイオ燃料

（出典）日経テレコン検索結果にもとづき作成

#### ○一般紙における論調

次に日経テレコンのデータベースを用いて、一般紙（朝日、読売、毎日、産経の各新聞および NHK ニュース）の報道を調べた。全体的な記事数数の推移とその内容は、前述の経済紙の結果と同じであり、記事の大部分はバイオエタノールの技術開発等の報道などが経時的に行なわれている。

その一方で、2007 年は日本でバイオガソリンの販売が開始された年であるが、これと同時にバイオエタノールのメリット・デメリットに関する解説記事、社説が全国紙に相次いで掲載された（表 3-7）。この時期は食品価格の上昇もあり、バイオエタノールの

与える影響について、社会的な関心が高まった時期と言える。

表3-7 全国紙におけるバイオエタノール関連の記事・社説等

年月	見出し
2007年4月	<ul style="list-style-type: none"> <li>・社説：バイオガソリン いいことづくめではない</li> <li>・(社説) バイオ燃料 何のために使うかを忘れずに</li> <li>・(社説) バイオ燃料 上手に育てたい</li> <li>・近事片々：環境問題だってあるだろうと思うのだが…</li> </ul>
2007年5月	<ul style="list-style-type: none"> <li>・【明解要解】普及するかバイオエタノールガソリン 食料以外の原料開発がカギ</li> <li>・庶民の味ピンチ バイオ燃料注目で穀物高騰 たこ焼き・うどん…価格に影響</li> <li>・バイオエタノール需要拡大 食品高騰…エコ社会の代償</li> <li>・(天声人語) 排気管に消える穀物</li> <li>・バイオ燃料、食卓に波風 原材料、品薄で高騰 マヨネーズ値上げ、ビール・牛肉も？</li> <li>・バイオ燃料：需要拡大 増産、生態系に影響</li> </ul>
2007年6月	<ul style="list-style-type: none"> <li>・バイオガソリン：食品高騰、供給能力…課題山積 温暖化の「救世主」ならず</li> <li>・食直撃 バイオ燃料普及→小麦や大豆高騰 うどんもお好み焼きも ネをあげる？</li> <li>・畜産農家を飼料高直撃 バイオ燃料需要増の余波、餌減らせず／九州・山口</li> </ul>
2007年7月	<ul style="list-style-type: none"> <li>・バイオ燃料：食卓直撃？ 卸売価格値上げ、原料高騰や円安も影響</li> <li>・バイオ燃料：需要増で農産物高止まり――OECD 警告</li> <li>・バイオ燃料：需要拡大…飼料高騰、九州の畜産業打撃――熊本市で窮状説明会</li> </ul>

(出典) 日経テレコン検索結果にもとづき作成

### (3) 日本におけるメディア報道の推移（総括）

以上のことを総括すると、日本におけるバイオエタノールをめぐる報道の推移は図 3-2 のように総括できる。まず、2000 年代初頭、2003 年頃からバイオエタノールの利用機運向上期に入る。次に 2006 年頃から本格的な実用化加速期に入り、報道件数も大きく増加する。この時期は、新たなバイオエタノール利用技術の研究開発が活発に行なわれ、報道内容もそれに対応したものが多いため。2007 年頃になると記事の件数はピークになり、依然として研究開発やバイオガソリンの実用化といった話題が多いものの、徐々に食料か燃料かといった倫理面の問題がクローズアップされるようになる。この時期は、いわばバイオエタノールの課題抽出期・ELSI 検討期とすることができ、出版物の方でもバイオエタノールへの懐疑論・反対論を中心テーマとする書籍の出版が続いた。

さらに 2009 年以降は「非食料」という見出しが増えるものの、記事件数は減少し、段々と低迷期に入る。この低迷期は数年間続くが、カーボンニュートラルが世界的なキーワードになるにともない、航空燃料への利用といった新たな局面が到来し、バイオエタノールの利用機運が再び高まっている。これは第 2 の利用機運向上期あるいはバイオエタノールの再興隆期とも言える。カーボンニュートラルを実現し、持続可能な社会を構築する上では、この流れを永続的なものにしていくことが望まれる。

### 3.4 まとめ

上記のメディア報道等の推移を踏まえると、今後バイオエタノールの普及を進めるためには、それぞれの関係主体において次のようなことが望まれる。

まず、研究者・産業界・行政においては、バイオエタノール技術とその研究開発状況を分かりやすく社会に対して発表し、バイオエタノールのメリットとデメリットについて生活者の理解を深めることが必要である。その時には、食料 vs 燃料といった側面だけではなく、表 3-4 に掲げた技術的側面、経済的・市場的側面、政策・行政的側面について幅広く情報提供していくことが必要である。近年、科学者と一般市民の対話に関してサイエンスカフェを始めとする様々な試みが行なわれている。こうした事例も踏まえて、人々との接点を増やしていくことが重要である。

一方、市民・生活者においては、カーボンニュートラル、SDGs の観点から、これまでのライフスタイルを見直すとともに、センセーショナルな論調のみに目を向けるのではなく、バイオエタノールに関する幅広い情報に触れるように心がけることが必要である。

最後にマスメディアは、研究者・産業界・行政と生活者をつなぐ立場として、バイオエタノールに関する報道のさらなる強化が求められる。カーボンニュートラル、SDGs は、人類にとっての最重要テーマであるが、最近の日本の報道ではこうしたテーマが必ずしも十分にカバーされていない。新型コロナウイルス感染症の流行、ロシアによるウクライナ侵攻といった大きな話題についての報道が多いのは当然としても、海外主要国

例えばドイツの公共 TV 放送のニュースと日本の TV ニュースを比べると、カーボンニュートラル、SDGs 関連の日本の報道は少ないとの印象が強い。マスメディアが研究者・産業界・行政と生活者を結ぶプラットフォームとなって、バイオエタノールの社会への浸透が進むことを期待する。

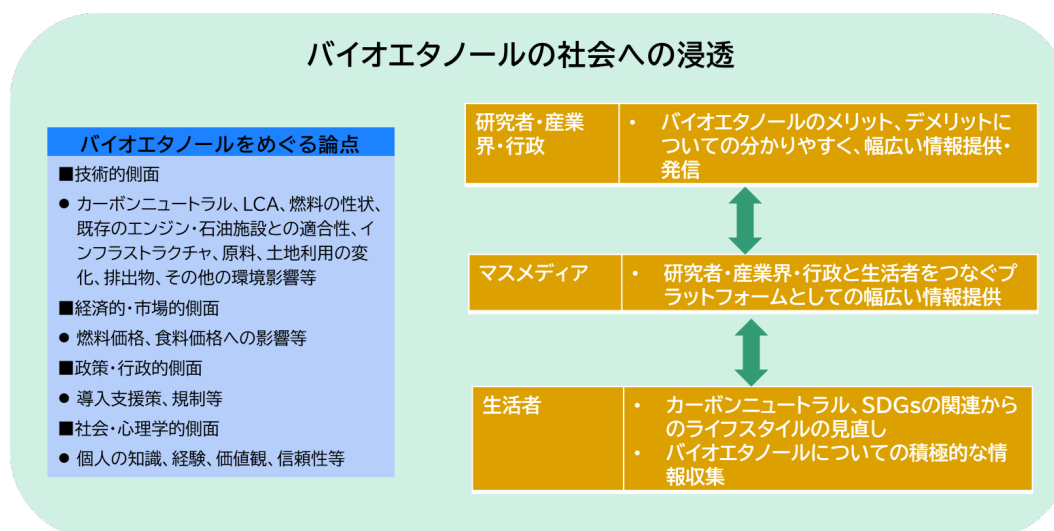


図 3-2 バイオエタノールの社会への浸透に向けたコミュニケーションのイメージ

○参考文献

<sup>1</sup> F. Dessi, S. Ariccio, T. Albers, S. Alves, N. Ludovico, M. Bonaiuto, Sustainable technology acceptability: Mapping technological, contextual, and social-psychological determinants of EU stakeholders' biofuel acceptance, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 158, 2022, 112114, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112114>.

## 第4章 私たちの生き方とエネルギー問題～カーボンニュートラルについて考えてみて

くらしとバイオプラザ 21 佐々 義子

### 4.1 はじめに

「カーボンニュートラル」ということばを耳にしたことはありますか。きっと地球温暖化とか、二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) 排出量を削減しようという話とつながっていた場面で聞かれたと思います。カーボンニュートラルとは、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにすることをいいます。そして、カーボンニュートラルは「貴重な化石燃料を使って CO<sub>2</sub> を出すなんてとんでもない！」と、私には、産業の発展や便利な暮らしに後ろめたさを強いることばにも聞こえます。

政府は 2050 年までに、カーボンニュートラルを実現すると宣言しました。CO<sub>2</sub> を全く出さないのではなく、太陽光や水力などの CO<sub>2</sub> を出さずにエネルギーを得る方法を利用したり、排出した CO<sub>2</sub> 量と植物が光合成で吸収した CO<sub>2</sub> 量の収支をゼロにできたりできれば「カーボンニュートラル」になります。人間の活動や産業を否定するものではありません。

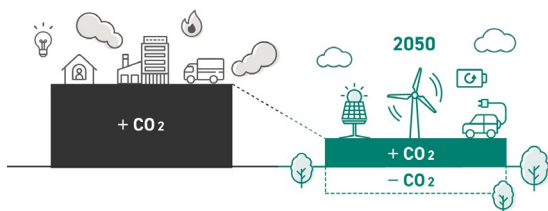


図 4-1 2050 年にカーボンニュートラルを目指す

(出典) カーボンニュートラルとは - 脱炭素ポータル | 環境省

約 2 億年前の中生紀・ジュラ紀から約 6 千万年前の白亜紀のプランクトンや藻などの死骸が地熱や細菌などの作用を受けて石油となったとする「有機起源説」によるならば、石油は長い年月をかけて造られたものですから、それを産業革命以降に急増した人間たちがどんどん使ってしまうのは問題があるでしょう。

(出典) 石油の歴史と道のり | 福島県石油商業組合

カーボンニュートラルを中心にいろいろ調べながら、「私たちが生きていくのに必要なものは何か」を考え、私なりの方向性を探ってみました。

### 4.2 家庭からの CO<sub>2</sub> 排出量

私たちはどのくらい、CO<sub>2</sub> を排出しているのでしょうか。CO<sub>2</sub> の排出量は、使った燃料、電気などを原油に換算して算出したり、使った電気から換算したりしたものを、活動ごと、事業所ごとに算出し、合計して得られます。今はオール電化の家庭もあり、オール電化はグリーンだとよく言われますが、電気を火力発電で生み出せば CO<sub>2</sub> は発生しています。

たとえば家庭の電気料金からも CO<sub>2</sub> を計算することはできます。家庭から排出される



CO2の内訳は、住み方によって異なっています（表4-1）。どのような使われ方をしているのでしょうか。そこで、割合になおして比べてみました（図4-2）。冷暖房と給湯で3割、照明などの電気製品で3割、自動車2-3割でした。冷暖房や照明などの住環境を整えるために6割、調理や水で食生活のために1割弱と傾向がみられました。割合は住み方によって著しく変わることはありませんでした。それでは一人ひとりの努力で減らせるのはどれでしょう。

表4-1 住み方と世帯別 CO2 排出量（国立環境研究所 2019年）

住み方（排出量の総量）	暖房	冷房	給湯	台所用コンロ	照明・家電製品	自動車用燃料
単身 一戸建て（2.90t）	0.57	0.06	0.43	0.08	1.12	0.64
単身 集合住宅（1.68t）	0.28	0.03	0.32	0.05	0.55	0.45
2人以上世帯 一戸建て（1.68t） 平均世帯人員3.25人	0.21	0.05	0.28	0.07	0.78	0.29
2人以上世帯 集合住宅（1.3t） 平均世帯人員 2.88人	0.16	0.03	0.27	0.05	0.49	0.3

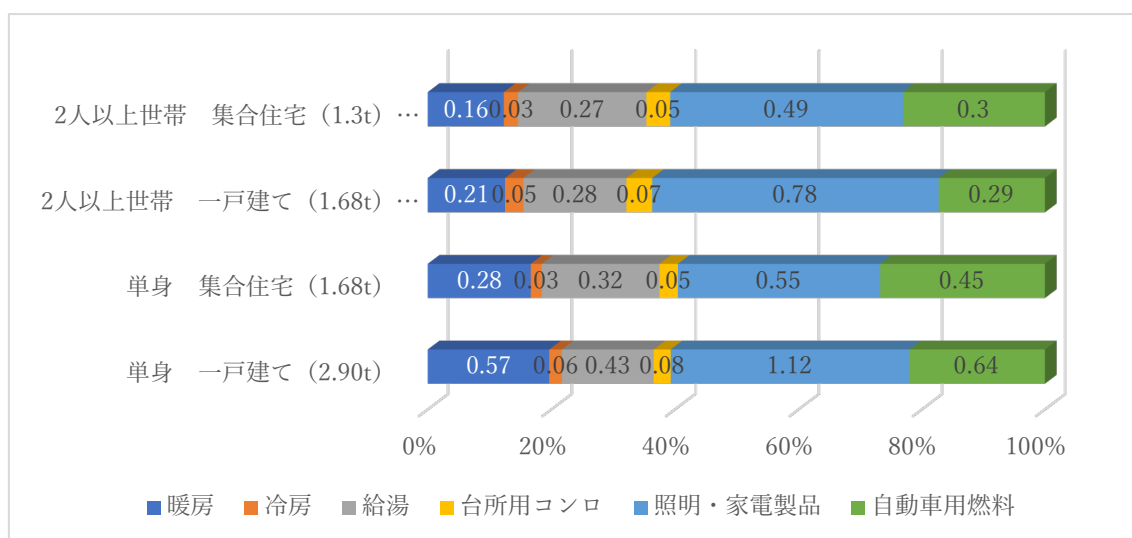


図4-2 家庭から排出される CO2 排出量の内訳の割合

（出典）私たちの住まい方と家庭における CO2 排出量（2019年度 38巻1号） | 国環研ニュース 38巻 | 国立環境研究所

<https://www.nies.go.jp/kanko/news/38/38-1/38-1-04.html>

図4-2のように家庭で使っているエネルギーは電気やガスなどとして利用され、CO2排出量として同じ単位で比べることができます。電気は使ったときでなく、火力発電でつくられるときにCO2を排出しています。使っているエネルギーの形で比較してみましょう（表

2)。表 4-2 にガソリンがでてこないのは交通費の方に含まれるからと考えられます。1 世帯の排出する CO2 は約 3t です。

表 4-2 令和 2 年（2020 年）1 世帯当たりの年間エネルギー排出量

エネルギー	消費量	CO2 排出量（t）
電気	4,258 kWh	1.88
都市ガス	213 立方 m	0.44
LP ガス	28 立方 m	0.17
灯油	155 ℓ	0.39

（出典）令和 2 年度家庭部門の CO2 排出実態統計調査 結果の概要（確報値）

<https://www.env.go.jp/content/900446969.pdf>

#### 4.3 日本の CO2 排出量

全国地球温暖化防止活動推進センター（JCCCA）のデータを見ると、2014 年をピークに日本の CO2 排出量は減少しています。これは、2004 年以降のリーマンショック、2020 年以降のコロナ感染症流行による経済活動の低減に負うところが大きいようです。しかし、2004 年から 2020 年までの減少に、事業所や家庭でエネルギー節約の努力、効率の良い機器の利用、交通機関での効率的なエネルギーの利用も貢献していると考えられます。

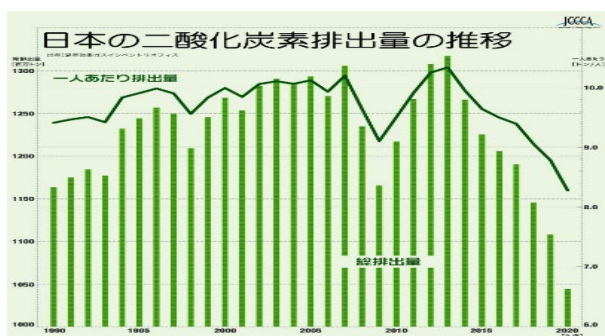


図 4-3 日本の CO2 排出量

（出典）4-03 日本の CO2 排出量の推移（1990-2020 年度）| JCCCA 全国地球温暖化防止活動推進センター

日本だけ見ると私たちの CO2 排出量削減は進んでいるようにみえますが、世界では 5 位、国民一人あたりは 4 位。

中国やインドのように工業化が大きく進んでいる国の排出量が多いと予想されます。しかし、排出量が多いからといって、その国の国民の衣食住環境が豊かで QOL（生活の質）が守られているとは限らないかもしれません。アフリカ諸国の CO2 排出量の低さをみると、地球環境に良いというより、安全な食と住環境が確保されているのか気になります。

いずれにしても、日本は一人当たりでは排出量が相対的には多いので、2014 年をピークに減っているからと安心してはいられません。

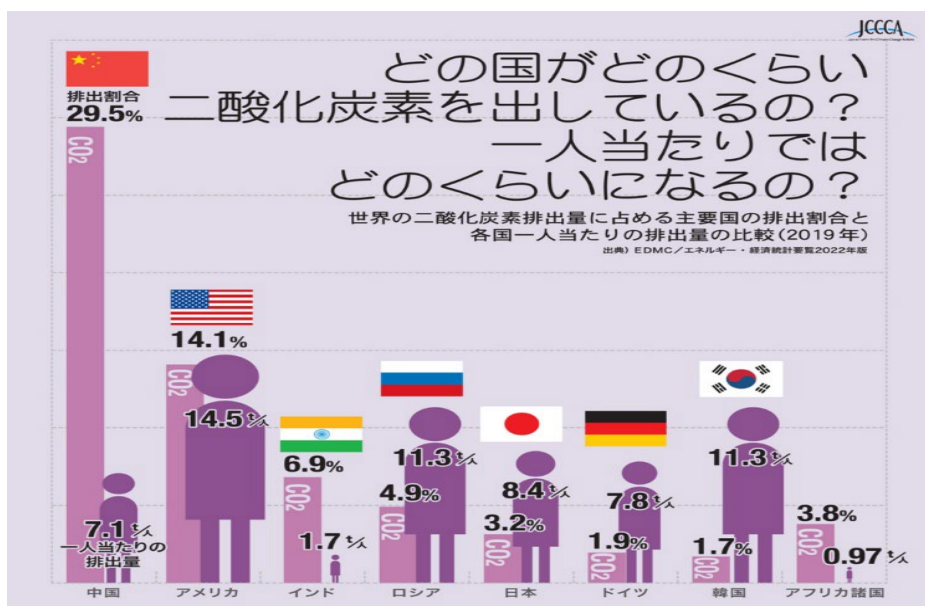


図 4-4 国民一人当たり、国ごとの CO2 排出量 (棒グラフ国全体、人形は一人あたり)

<https://www.jccca.org/download/66920>

3-01 世界の二酸排出量 (2019 年) | JCCCA 全国地球温暖化防止活動推進センター

#### 4.4 CO2 排出量が増えることによる問題

CO2 の排出量が増えて地球温暖化が進むと、どのような問題が起こるのでしょうか。人間と動物の両方からの言い分として、WWF ジャパンのコメント A から H をもとに考えてみました。

A: 暑熱や洪水など異常気象による被害が増加

→異常気象の原因は一つではないでしょうが、CO2 排出量削減も含む取り組みが必要です。

B: サンゴ礁や北極の海氷などのシステムに高いリスク

→地球温暖化は生物資源にダメージをもたらします。生物資源へのダメージが人間の暮らしにどのようなリスクを与えるのか。直接的なリスクなのか。多くの人の賛同を得るには、丁寧な説明が必要です。

C: マラリアなど熱帯の感染症の拡大

→ハマダラカが日本でも越冬できるようになると、マラリアが日本で流行する可能性があります。コロナで体験したように、感染症の流行は人々の暮らし、社会や経済を直撃します。

D: 作物の生産高が地域的に減少する

→高温になって栽培できなくなる作物と、寒冷地が温暖化して栽培できるようになる作物があります。遺伝子組換え技術やゲノム編集技術などを用いた環境ストレス耐性を持つ作

物の開発が進んでいます。このような作物の開発や利用を応援するのも市民にできることのひとつかもしれません。

E：利用可能な水が減少する

→地中海沿岸、中近東、アフリカ南部、アメリカの中西部では、降水量が減り、年間の河川流量も減ると予測され、反対に、ロシアやカナダでは年間の河川流量が増えると予測されています。一般的には、温暖化によって気温が高くなると、降雪量が減り、融雪の時期も早まり、結果的に水資源が減少します。

F：広い範囲で生物多様性の損失が起きる

→温度が上がることで生息できない生物は減少したり、絶滅したりします。生物資源の保全だけを考えると、私たちの暮らしとは遠いと考えがちですが、地球上の大きな食物連鎖から考えたらどうでしょうか。

G：大規模に氷床に消失し海面水位が上昇

→ゼロメートル地帯の人々は暮らせなくなったり、干害や塩害で作物の収穫が難しくなったりする地域が出てくるでしょう。

H：多くの種の絶滅リスク、世界の食糧生産が危険にさらされるリスク

→温暖化の結果として、水不足、干害・塩害が起これ、高温に適用できない種は絶滅したり、作物の生産量は減少したりすると考えられます。

（出典）地球温暖化が進むとどうなる？その影響は？ | WWF ジャパン  
<https://www.wwf.or.jp/activities/basicinfo/1028.html>

WWF ジャパンの掲げる項目の中には、野菜の価格が高騰したり、感染症が流行したりするという私たちの暮らしを直撃するものと、直接には関係ないようにみえるものがあります。後者には目が向きにくいかもしれませんが、生態系の乱れは食を含めた私たちの生活を脅かす恐れがあることは心に留めておきたいと思いました。

#### 4.5 私たちが生きていくために必要なもの

「衣食足りる」とは、衣があって暑さ・寒さをしのぐ「環境」が得られ、「食」が足りて飢餓にならないという意味だと思います。これは人間が生物として生きているために欠かせないものです。私たちが暮らせる環境を得るための「エネルギー」と、生命活動を支えるための「食物」に分けて考えてみます。

##### （1）エネルギー

2019年度、日本のエネルギー自給率は12.1%でした。これは世界で35位。その84.8%を石炭と石油から得ています（図5）。

2億年もかかってつくられた化石資源に8割以上を依存しており（図4-6）、このスピードで使って行ったら、近い将来足りなくなると心配です。

たとえば、水力、風力、地熱、太陽光、バイオマスのように、私たちの世代だけで賄えるエネルギーで対応できたら、貴重な化石燃料や、廃棄物処理が悩ましい原子力を使わずに済

みます。現状では、水力 3.5%と再生エネルギー8.8%を併せて 11.8%ですから、このふたつだけでは日本のエネルギー消費量には到底及びません。

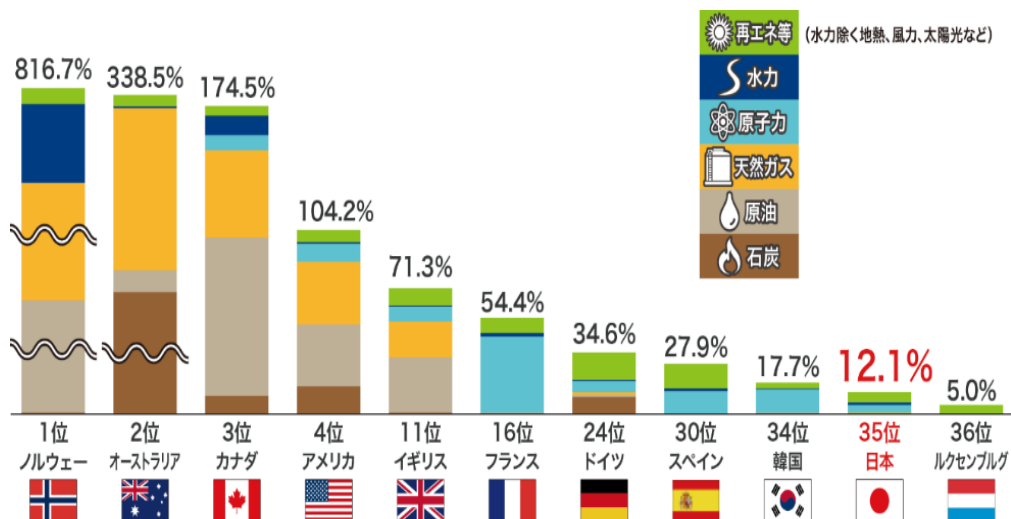


図 4-5 日本の一次エネルギー供給率

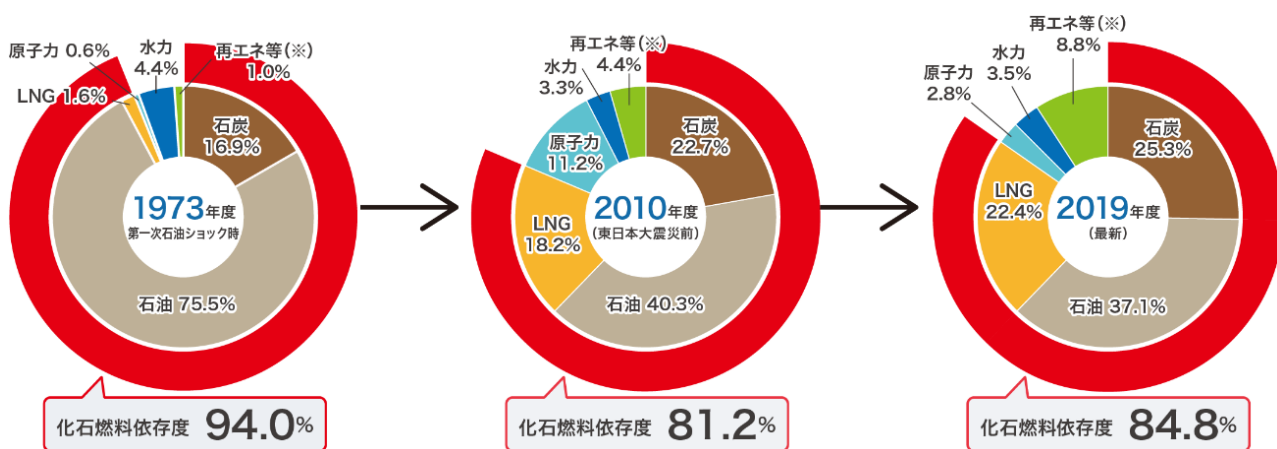


図 4-6 エネルギーの内訳

(出典) <https://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/energy2021/001/>

安定供給 | 日本のエネルギー 2021 年度版 「エネルギーの今を知る 10 の質問」 | 広報パンフレット | 資源エネルギー庁

## (2) 食べ物

日本の食物自給率が低いことも、広く知られています。2021 年度の食物自給率は 38% (飼

料自給率を含まず)、飼料自給率は 25% です (日本の食料自給率: 農林水産省 [https://www.maff.go.jp/j/zyukyu/zikyu\\_ritu/attach/pdf/012-4.pdf](https://www.maff.go.jp/j/zyukyu/zikyu_ritu/attach/pdf/012-4.pdf))。

この自給率を上げ日本の就農者を増やすために、私たちにできることはないでしょうか。国産農林水産物を購入する、生産者の省力化を応援するなどが考えられます。たとえ、除草や害虫駆除などの作業が楽になる技術が、新しくてなじみがない技術でも、生産者のメリットは消費者のメリットにつながることを理解して応援したいものです。

同時に、食品ロスも減らしたいと思います。家庭からの CO2 排出にはごみの処理 3.8% も入っています (図 4-2)。このゴミのすべてが食物残渣とは限りませんが、食べ物を無駄にした上に、その処理によって CO2 が排出されてしまうのは、なんとも「もったいない」です。

日本の食品ロスは年間522万t、そのうち家庭から出る家庭系の食品ロスは247万t(47%)、事業系は275万t(53%)です。発展途上国では、家庭系の食品ロスが非常に低いことをみると、得られた食物を大切にす人々の姿が思い浮かび、胸が痛みます。

## 我が国の食品ロスの現状

- 「食品ロス」 = 本来食べられるのに捨てられる食品
- 我が国の食品廃棄等は年間2,372万トン<sup>※1</sup>、うち食品ロスは522万トン<sup>※2</sup>
  - ・国連世界食糧計画(WFP)による食料支援量<sup>※3</sup>(約420万トン)の1.2倍
- 食品ロスの内訳
  - ◎事業系 : 275万トン(53%)
  - ◎家庭系 : 247万トン(47%) 食品ロスの約半分は家庭から

※1 飼料等として有価で取引されるものや、脱水等による減量分を含む  
 ※2 令和2年度推計(農林水産省・環境省)  
 ※3 国連世界食糧計画 (World Food Programme:WFP)2020年実績

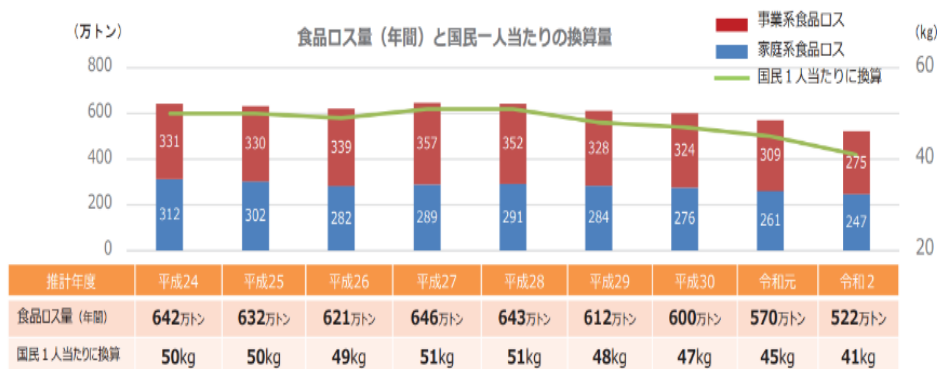


図 4-7 食品ロスの推移と内訳 (令和2年 2020年)

(出典) 食品ロス削減関係参考資料

[https://www.caa.go.jp/policies/policy/consumer\\_policy/information/food\\_loss/efforts/assets/efforts\\_221201\\_0002.pdf.jp](https://www.caa.go.jp/policies/policy/consumer_policy/information/food_loss/efforts/assets/efforts_221201_0002.pdf.jp)

食品ロス削減によるカーボンニュートラルへの貢献度は小さいかもしれませんが、エネルギーと食物の多くを輸入に頼っている私たちは、まず、食品ロスを減らさなくてはなりません。食品ロスというと、野菜の皮を厚くむきすぎるなどの「過剰除去」をやめる、野菜の皮などを使ったレシピの紹介がよくみられます。これはよいことなのですが、毎日の家事においては、食品ロス削減料理をする時間的・精神的余裕がないときもあり、食品ロス削減のためのひと手間は少し重荷です。

その点、消費期限の短い手前の食品から購入する「手前どり」、消費期限の設定が長くしている事業者の製品を積極的に購入することは、だれにでもできる「食品ロス削減」です。ここで注目したいのは、京都市の「てまえどり」の取り組みです。消費期限・賞味期限の短い品目について「てまえどり」をPRしたところ、廃棄の減少が確認され、事業者と一般市民の意識変容が結果に影響することが示されており、「意識」の大切さがわかります。

(出典) 京都市 京都市:「てまえどり」の食品ロス削減効果について

<https://www.city.kyoto.lg.jp/kankyo/page/0000296815.html>

(出典) 農水省「食品ロス削減や食品リサイクルの取組事業者と取組内容を公表」

<https://www.maff.go.jp/j/press/shokuhin/recycle/211029.html>

#### 4.6 私たちにできる省エネ

これまで、私たちが暮らしの中で消費する食物やエネルギーはどのくらいなのか。その中に無駄な消費はないのか調べてきました。東京都環境局では、ひとりひとりにできることとして次のような提案をしています。

(出典) わたしたちにできること? | 東京都環境局

[https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/kids/climate/global\\_climate/can.html](https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/kids/climate/global_climate/can.html)

- ・節電：エアコンの温度設定、使わない電化製品のプラグをコンセントから抜く、誰もいない部屋の消灯。テレビのつけっぱなしをやめる。
- ・節水：シャワーや歯磨きの時に水を出しっぱなしにしない。
- ・交通：公共交通機関と自転車の利用。
- ・プラスチックごみの削減：マイバッグの使用。
- ・植物の栽培：ヒートアイランド緩和。緑化の推進。

簡単な節電として、朝か夕方に合わせて1時間、外の明るさを利用して室内灯をつけるのを止めてみたらどうでしょう。100Whの電灯を1時間、つけなかったときに節約できる電力は、1年で36.5Kwh(100Wの365時間分)です。1世帯の使う電気の全使用量(4,000-5,000Kwh)の0.7-0.9%にあたります。これだって、多くの世帯で心がければ1%以下とは

いえ、CO2 排出量を減らすことにつながるかもしれません。大切なのはそういう意識なのかもしれません。

#### 4.7 別な視点からも考えてみる

私たち一人一人が「エネルギー」と「食」を無駄にしないことにつきるわけですが、もう少し踏み込んで、別な視点からも考えてみたいと思います。

本検討会に参加していろいろ学びながら「化石燃料を使わず、地上に与えられた資源で生きていくこと」が、最重要であると私は感じました。そこで、ひとりでも多くの人とともにカーボンニュートラルに関心を持ち、考え続けることも、私たちにできる大事なことだと思います。以下を書き出してみました。

##### ① 太陽光発電

東京都では、2022年8月「カーボンハーフ実現にむけた条例制度改正の基本方針」(案)を発表し、太陽光発電を奨励しています。QA集のQ14によると、「住宅屋根に4kWの太陽光パネルを設置した場合、年間4,000kWh程度の発電量が期待でき、これは、一般家庭の平均年間電力消費量の約8割程度に相当します。実際には夜間・天気の悪い時は発電しないので、設備利用率は13.6%です」とあります。

$$4 \text{ Kw} \times 24 \text{ 時間} \times 365 \text{ 日} \times 0.136 = 4765.4 \text{ Kwh}$$

表2で示したように、年間に用いる4000-5000Kwhのうちの8割を太陽のエネルギーを直接使うことで賄えたら、カーボンニュートラルには有効そうです。

しかし、なんといっても初期投資が大きく(150万円前後)、耐用年数は20-30年。使えなくなった機材の処分の問題が残っており、一般家庭で導入するにはかなり勇気がいりそうです。そもそも集合住宅では、住民の合意が必須です。電気代が安くなることで、初期投資は約10年で回収できるといわれていますが、故障もあるし、初期投資回収後に次の太陽パネル設置のための資金を調達できるとは限りません。一戸建て、集合住宅など、人の住み方はそれぞれです。野外の明るさに頼って消灯時間を長くするのに比べると、期待できそうなエネルギー節約の方法ではありますが、その前にあるハードルたちも低くありません。金銭的なプラスよりも化石燃料を節約できることそのものに意味を見出せないと、太陽光発電の導入は一般家庭にとっては難しい選択ではないでしょうか。

(出典) 太陽光発電設置 「解体新書」・Q&A | 東京都環境局

[https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/climate/solar\\_portal/faq.html#cms8166F](https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/climate/solar_portal/faq.html#cms8166F)

##### ② バイオエタノールの利用

太陽光発電のように、太陽光を直接使うばかりでなく、太陽光で光合成を行い、エネルギーを作り出す植物を使う方法はどうでしょうか。日本には、荒廃地と呼ばれる、以前は耕作していた今は耕作していない土地があります。

令和2年の荒廃農地面積は、全国で約28.2万ヘクタール(ha)でした。このうち、「再生



利用が可能な荒廃農地」は約 9.0 万 ha（農用地区域では約 5.5 万 ha）、「再生利用が困難と見込まれる荒廃農地」は約 19.2 万 ha（農用地区域では約 8.1 万 ha）です。再生可能な荒廃地をエネルギー産生に利用できないでしょうか。耕作されなくなった理由は、農業従事者の減少と高齢化、土地持ち農家による農作業の中止、農産物価格の低迷、収益のあがる作物がないなどです。また、耕作をやめた土地が農業以外で利用されると数字の上で荒廃地の面積は減りますが、耕地面積全体をみれば確実に失われます。これは、国の資源の喪失です。農林水産省では、再生可能な土地をつなげて広くして作業しやすくしたり、新しく農業に参入する人を増やしたりと様々な試みも行っていますが、厳しい状況は変わりません。

令和 2 年の荒廃農地面積について：農林水産省

<https://www.maff.go.jp/j/press/nousin/nihon/211111.html>

### ③ エタノール混合ガソリン

#### ○実証実験の事例 「グリーンガソリン」

「グリーンガソリン」というプロジェクトが平成 17 年から 5 年間、新潟県で行われました。非食用の多収米「北陸 193 号」を、8 つの農業協同組合（JA）が中心になって、約 300 ヘクタール（ha）、新潟県で栽培しました。冷夏や猛暑により、目標生産量の 95%である 2125 トン（t）が生産されました。平均収量は 10 アールあたり 750Kg でした。令和 3 年の米の生産量、10 アールあたり 535Kg と比べても多収です。

（出典）農林水産省「令和 3 年（2021 年）産水稻の 10a 当たり平年収量」について  
<https://www.maff.go.jp/j/press/tokei/seiryu/210323.htm>

これを発酵・蒸留してエタノールが作られました。プラント故障などで目標値に届きませんでしたでしたが、720 キロリットル（kl）の「バイオエタノール」が製造されました。このバイオエタノールを 1.5%～3%、ガソリンに混合し 3 万 8000 キロリットル（kl）がガソリンとして販売されました。利用者からのクレームはなく、バイオエタノールをガソリンに直接混合しても問題がないことが実証されました。製造工程で出てくる搾りかすは肥料・飼料として利用されました。醸造過程で使うエネルギーは稲わらなどを用い、化石燃料を使わない閉じた系の中でエネルギーを生み出すことに成功しました。

（出典）バイオエタノール用の米 転作作物として定着 J A 全農 | 農政・農協ニュース | JAcom 農業協同組合新聞

<https://www.jacom.or.jp/archive03/news/2012/04/news120413-16674.html>

#### ○E10 ガソリンの利用

E3（エタノール混合率が 3%）ガソリンまでは、今、使っている自動車に入れられますが、エタノールを混合した従来と異なるガソリンを入れて、走行中に何かが起こったらと心配する人は、私を含めて多いと思います。エタノールを混合したガソリンの安全性については十分に説明していただきたいものです。

大阪府は 2009-2010 年、環境省の委託により、公用車 28 台を含む 34 台を対象に、E10 ガソリンを用いて実証実験「高濃度バイオ燃料実証事業」が行いました。E10 ガソリンを製造し、3 か所で給油し、ガソリンスタンド運営上の問題についても検討できるという成果をあげました。このように、化石燃料を節約できた取り組みが周知されず、継続されていない事は残念なことです。

(出典) 大阪府／実証事業の概要

<https://www.pref.osaka.lg.jp/chikyukankyo/e10/summary.html>

### ○エネルギー供給構造高度化法

経済産業省では、非化石エネルギー源の利用促進、エネルギーの安定的供給の確保、バイオエタノールの利用推進を、「エネルギー供給構造高度化法」によって進めようとしています。

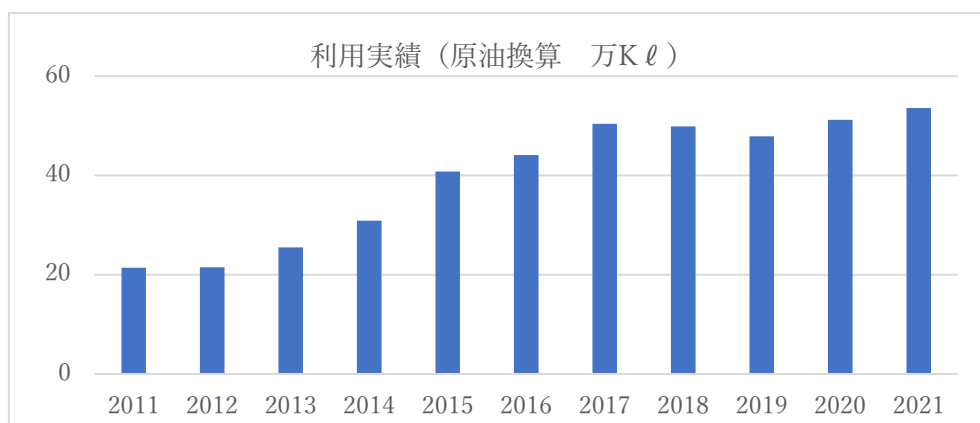


図 4-8 バイオエタノールの利用実績

(出典) 経済産業省 「エネルギー供給構造高度化法の 判断基準について」

[https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/bio\\_nenryo/pdf/006\\_04\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/bio_nenryo/pdf/006_04_00.pdf)

図 4-8 をみると、年間 60 万 Kℓ の揮発油を製造・販売している特定石油精製業者に対し、この計画の達成が求めています。具体的には、2010 年に一次告知を制定、2018 年に二次告知を制定、2020 年 9 月二次告知を修正し、2020-2021 年度には 50 万 Kℓ の目標を達成しました。

私たちはすでにバイオエタノールを利用していたのです！ここで使われているエタノールの大部分は、ブラジルから輸入されるサトウキビで作られたバイオエタノールと北米から輸入されるトウモロコシで作られたバイオエタノールです。これが荒廃地で栽培された国産作物から作られたエタノールでないことはまことに残念です。しかし、バイオエタノールを実際に利用した実績は、バイオエタノールに対応する自動車の開発、ガソリン

スタンドの改善につながり、私たち一般市民がバイオエタノールの利用に慣れるという重要な経験をもたらしています。バイオエタノール混合ガソリンは、化石燃料の利用抑制につながることを期待されます。

E1 ガソリンがすでに利用されていることが、どうしてこれまで消費者に広く周知されなかったのでしょうか。SDGs を呼び掛ける時にセットで伝え、植物エタノールを混合したガソリンを通じて、私たちが SDGs に貢献できていると知ることは、環境への意識を高めます。そして、私たちはカーボンニュートラルに向けた取り組みのひとつ達成できたことを知り、元気になります。

#### 4.8 それぞれにできること

##### (1) 食物 VS 燃料

化石燃料を使わないで、地上でエネルギーと食物を得て暮らすことができれば、永続的に地球に住むことができるかもしれないと期待しながら、エネルギーと食をめぐる状況を学んできました。

そこで、もうひとつ整理しておきたい課題があります。それは、「食料競合」です。食料競合とは、「食料となりうる物資の燃料活用は抑制するべき」という考え方です。日本の場合、食用になる米を燃料として使うことに抵抗感があるようです。日本は飽食ですが、世界には飢餓に苦しんでいる地域があります。飢餓の人がいなくなる限り、食料になるものを燃料にするのは許されないでしょうか。

資源エネルギー庁の報告書では、まず、食料競合の対象にならない作物を探すことから議論しているようです。しかし、米の消費量が減ったからと言って生産を長く抑制してきた日本の実情を振り返ると、稲作が得意な日本で（転作を試みることは意味がありますが）、水田をエネルギー自給のために利用しない手はないと思えるのです。「食料競合」の意味を公開でよく議論し、米も含めたバイオマスの利用を考えられたらよいと思います。

バイオマス発電燃料の食料競合について（令和2年 2020年 資源エネルギー庁）

[https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene\\_shinene/shin\\_energy/biomass\\_sus\\_wg/pdf/008\\_02\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/shin_energy/biomass_sus_wg/pdf/008_02_00.pdf)

そして、もうひとつおさえておきたいことは、日本は、1971年から2018年まで約40年以上、作付け面積を減らす「減反」を行ってきたことです（1反は10アール）。減反政策は世界でも類をみない政策で、日本の耕作面積は半減しました。2018年以降「減反」という政策は廃止され、産地が自ら需要に応じた生産に取り組む方向性が示されましたが、荒廃地は増え続け、就農者は減り続け、減反廃止が生産者を元気にしているにはみえません。再生利用可能な耕地は、早く農地として再生を始めないと、非農業用地になり、永遠に失われてしまうでしょう。耕地を失うということは、作物を生産する潜在力をそぐことになり、これは国力をそぐこと言えるでしょう。

高齢で頑張っている農業従事者、これから経営形態を再考しようとしている農業従事者

の可能性を拡大するためにも、グリーンガソリンという選択肢を「食料競合」を理由にして退けるのは、あまりにもったいないと思います。

## (2) 一般市民にできること

「食物」と「エネルギー」を無駄にしないように、日々努力する。たとえば、未病を心がけ、ひとりひとりが健康寿命を延ばして社会に役立つ生き方を目指すことも、間接的には地球に優しい生き方であるといえましょう。

そして、よい循環の仕組みづくりを理解してサポートする。たとえば、生産者が再生可能な農地で燃料を目的とした作物を育てる場合、遺伝子組換え技術やゲノム編集技術などのバイオテクノロジーを利用した作物開発、AI を用いた栽培を行うことに関心を持ち、植物エタノールを混合したガソリンを積極的に利用し、受容する。受容しないまでも意識を持つ、これも消費者にできる「応援」です。

## (3) 行政や産業界にできること

ここまで考えてきて、私は次のような行政や事業者の取り組みを理解したり、応援したりすることも、私たちにできることにつながると思いました。

### ・太陽光発電

東京都で推進しようとしている太陽光発電は有望なプランのひとつであると思います。しかし、故障や耐用年数が過ぎた時の処分などの課題は残っています。そして、これらの課題がクリアされることは、一般市民が安心、納得して家庭のエネルギーを考えられる基盤になります。そのためには、太陽光発電、ソーラーパネルなどのことばも統一し、売電による利益だけでなく、CO2 排出量をどのくらい減らせるか、初期投資の回収には硬い見積もりも提示し、一般市民が手を出せるようにしなくてはならないと思います。

### ・バイオ燃料

地上にあるものでエネルギー収支を合わせるのに、植物から得られるバイオ燃料の利用は期待大です。グリーンガソリン(農協)、E10 ガソリン(環境省のプロジェクトとして大阪府で実施)、すでに実現している E1 ガソリン(経済省「エネルギー供給構造高度化法」)などの実績があることは、とても心強いことです。国民に周知しながら推進していただきたいと思います。

農林水産分野：使われなくなった農地の利用、ゲノム編集技術などを使った栽培しやすく高収量の作物の開発と栽培、バイオ燃料を生産する農業者の支援(短期の助成金だけでなく、産業として採算のあうような仕組みづくり)。

環境分野：E10 ガソリンを全国の公用車で実証。消費者への周知と理解促進。

経済産業分野：石油事業者によるバイオ燃料の利用の拡大。E3 ガソリンを全国的に実現。

現在の E1 ガソリンを支えているのは輸入作物から作られたエタノールですが、ここに国産原料がより利用されるようにするためには、上記のように省庁を超え、自治体も加わった

連携した事業が必須です。そして、一般市民に対して植物エネルギー政策が実現していることを可視化し、個々の意識を高めていくことも欠かせません。

#### (4) みんなで一緒にできること

カーボンニュートラルについて考えてきて、最重要事項は化石燃料を使いすぎないことと、あえて一つの具体策を選ぶならグリーンガソリンを進められたらいいと思うに至りました。植物の利用においては、遺伝子組換え技術やゲノム編集技術などのバイオテクノロジーやAI農業は、これからの農業に必須であると考えます。

同時に、多くの人々が「食やエネルギーを大切に使うためにできること」を話し合ったり、考えたりする透明性のある対話の場づくりも大切だと思いました。

そこで今回、気になったのは専門用語が多すぎて、共に話し合ったり、考えたりするには難しい状況があることです。温室ガス、CO<sub>2</sub>、カーボンニュートラル、地球温暖化防止、CO<sub>2</sub> 排出量削減、バイオ燃料、グリーンガソリン、バイオマスエネルギー、再生可能エネルギー、グリーントランスフォーメーション。これらは大筋では同じ方向性の中にあることばなのでしょうが、数年のプロジェクトが立ち上がるたびに新しい用語が登場するように見え、これでは一般市民と共にじっくりと意識を高めていくことは容易ではありません。私たちの生活は長く連続していて、農林水産分野もエネルギー分野も環境分野もシームレスにつながっているからです。シンプルなメッセージに絞って、継続的な実践につながるにはどうしたらいいか、あらゆる人が手を取り合って進めていきたいものです。

#### 4.9 まとめ

次のことを提言したいと思います。

##### 0. 前提

地球上にある食料とエネルギーを使って生きる。化石燃料のように長い年月をかけて創られたものは使わないように努力する。

##### 1. 一般市民である私たちにできること

食料とエネルギーを無駄にしないように、それぞれの人が継続しやすい形で努力する。

- ・食品ロス削減
- ・節電・節水

##### 2. 事業者や行政にお願いしたいこと

省庁を越えて、自治体も連携して、地球上にある食料とエネルギーの収支があうような政策をつくり、事業を行う。

- ・太陽光発電の推進
- ・植物燃料（できるだけ、荒廃地で作られた作物を利用）の利用の推進

##### 3. みんなでできること

わかりやすいことばで、一般市民、行政、事業者、研究者など、あらゆる人が、地上に

ある食料とエネルギーだけで暮らせるように努力する。

- ・用語を整理して、多くの人に関心をもって共に考えられるように情報環境を整え、対話の場を創る。

- ・バイオエタノールを混合したガソリンについて情報提供してその利用を進める。

### 5.1 はじめに

1859年、アメリカ、ペンシルベニア。それまで住民に薬として使われていた、地面から湧き出ている歴青と呼ばれる泥状のものが、灯油という商品になった。石油時代の始まりである。オイルクリークから出るロックオイル（石油）にはケロシン（灯油）が含まれていてオイルランプの燃料に適していたのだ。その当時、ガソリンは使い道がなく、副産物としてほとんど捨てられていたという。その後トーマス・エジソンが白熱電球を発明し、灯りはオイルランプから電気に代わる。しかし、今度はヘンリー・フォードが自動車を発明。1896年。ガソリンは内燃機関の不可欠なエネルギーとなって今日に至っている。

以来、127年。石油がもたらした経済的繁栄。石油はエネルギーから身の回りの生活用品に至るまで安価で便利な文明を提供し、代わりに海には石油化学から生まれたプラスチックのごみが流れつき、地球は温暖化の問題を抱えるようになった。そして2023年の今日、私たちは現代のエネルギー文明を作ってきた石油からの撤退を迫られている。

暑ければ涼しさを求め寒ければ暖をとりたいと思う生活のレベルを変えるのは難しい。一度慣れてしまった便利な生活、快適な生活を手放すには勇気がある。が、地球規模で求められているのは脱炭素社会。生きていくということはエネルギーも食料も消費することではあるけれども、今までと違うのは「消費＝捨てる」ではなく、「消費→再利用」の「捨てない社会」である。

世界の国々は脱炭素に向けてどのような対応、対策をしているのか。では、エネルギーも食料も輸入国になってしまった日本はどのように自立の道を歩むべきなのか。今回のロシアによるウクライナ侵攻、戦闘という事態では、物流が滞り、物価の安定も一瞬にして崩れ、食料安全保障に加えエネルギー安全保障の重要性が再認識された。少子高齢社会が更に進む日本だが、生まれて来る新しい生命も健康に生きることを望んでいる。この子たちが20歳になるころ、日本の脱炭素、バイオエネルギー社会が成立していることを切に願う。そのためにはどのような選択をすべきなのか。

世界が脱炭素、カーボンニュートラルを加速させる中、日本がとるべき道、再生エネルギーとしてのバイオエタノールの可能性について考察をする。

### 5.2 再生エネルギーに関する世界と日本の状況

日本の一次エネルギー自給率は2019年時点で、原子力と水力、再生エネルギー等で12.1%と主要国中でも最も低い。1位のノルウェー、816.7%、2位オーストラリア338.5%と比べると非常に低い（図5-1）。しかしエネルギー大国もその内訳をみると原油や天然ガスの生産量が高いことで自給率が高くなっていることがわかる。再生エネルギーの生産量はドイツやスペインを除くと各国あまり変わらない。現在CO<sub>2</sub>削減が義務付けられ脱石油化が進む中、世界のエネルギーは再生エネルギーとバイオエタノール等が主となり、これら

の自給率が高いことがエネルギー自立国の条件となる。石油資源を持たなかった日本も再生エネルギーやバイオエタノールの生産量を上げることで、エネルギー輸入大国からエネルギー自給国家への道を歩めるかもしれない。

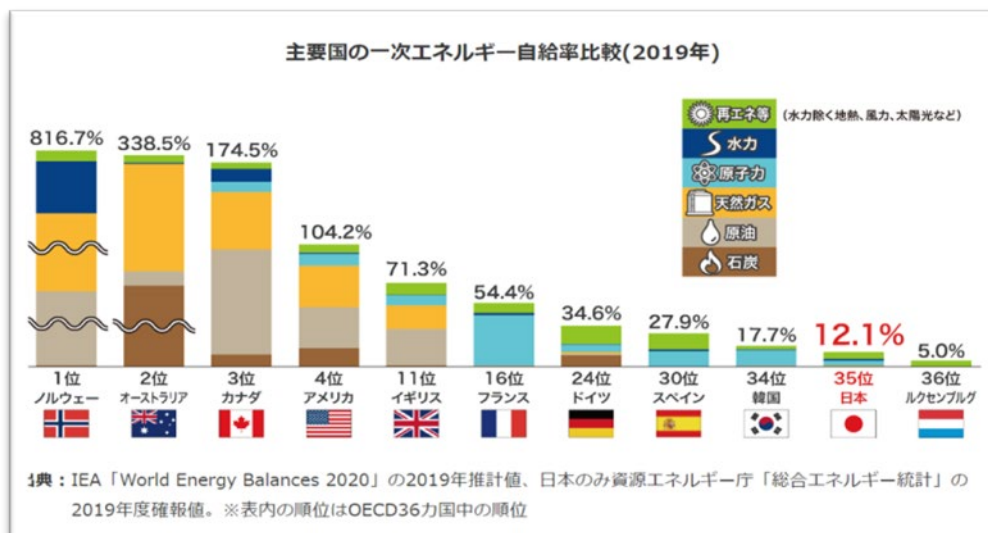


図5-1 主要国の一時エネルギー自給率比較 (2019年)

(出典) [https://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/energy2021/001/安定供給|日本のエネルギー-2021年度版「エネルギーの今を知る10の質問」|広報パンフレット|資源エネルギー庁\(meti.go.jp\)](https://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/energy2021/001/安定供給|日本のエネルギー-2021年度版「エネルギーの今を知る10の質問」|広報パンフレット|資源エネルギー庁(meti.go.jp))

しかし SDGs で日本が概ね達成できている分野と達成が難しい分野を見てみると、目標12と目標13の達成状況から日本の再生エネルギー対応の遅れが読み取れる (図5-2)。

- 概ね達成できている分野
  - 目標4 質の高い教育
  - 目標9 産業と技術革新
- 達成するのが難しい分野
  - 目標5 ジェンダー平等
  - 目標12 つくる責任つかう責任 一消費と生産
  - 目標13 気候変動
  - 目標17 パートナーシップ

図5-2 日本の達成できていないSDGs分野



### 5.3 日本の農地情勢とバイオエタノールの可能性

バイオエタノールはトウモロコシが67%、サトウキビが27%占めるが、そのほとんどを主生産国ブラジルと米国が占める。EUではサトウダイコン(38%)、トウモロコシ(37%)、小麦(14%)などで、ウクライナからの輸入トウモロコシも利用されている。

#### (1) 食料、飼料、エネルギーとしての作物

バイオ燃料は今後電動化が困難なセクター(トラック、航空、船舶など)での役割が重要になってくるが、一方では食料を燃料にすることへの抵抗もある。WFP 国連世界食糧計画とFAO 国連食糧農業機関はロシアのウクライナ侵攻により食料、燃料、肥料が急騰し、そのうちのわずか15種の作物が世界で摂取される食物エネルギーの90%を占めている。なかでもコメ、トウモロコシ、小麦は世界人口の3分の2にあたる40億人の主食を占めている。このような状況下でバイオエタノールの原料となるコメやトウモロコシは主食用ではなく飼料用であると言ってもなかなか食料としてのイメージを払拭するのは難しい。すでに国連WFPが「壊滅的な飢餓」と警戒を発している。このような中で、本来食料であるコメやトウモロコシをエネルギーの原料として由としない考えもある。また、バイオエタノール用のトウモロコシを生産するために、草原をつぶして畑を作ることで、すでにCO<sub>2</sub>が増加するという見方もある。

(2022年6月に公開されたSDGsの達成度・進捗状況に関する国際レポートより)

農林水産省は平成20年(2008年)「農林漁業バイオ燃料法」制定、そのなかで「バイオエタノール製造の取り組み」を支援しているが、コメの場合1俵¥12,000コストがかかる。地代は水田10aで¥10,000~¥12,000かかる。このコストに対して見合う収入が期待できるか、セカンドジョブとしてどのくらいの収入を得られれば取り組むのかの検討も必要である。

#### (2) 日本の農地面積、農業就業人口は減少を続けている

一般社団法人全国農業会議所は業務の一つに「農地に関する情報の収集、整理、提供」があり、荒廃農地などの管理、区画整理全国の農業委員会を通して行っているが、昭和26年度の農業委員会制度発足から約70年が経ち(表5-1)、日本は農業就業人口がこの10年間で92.5万人減、かつての3分の2に減少、農地の減少を農業者の減少が上回り、かつて

表5-1 農業委員会制度発足(昭和26年から約70年後の推移)

	農地面積	農業就業人口	1人当たりでは
制度発足時	600万ha	1,400万人	42a(0.42ha)
現在	440万ha	168万人	220a(2.2ha)

の「農地が足りない」から真逆の「農地を耕す人がいない」になったという（図5-2）。

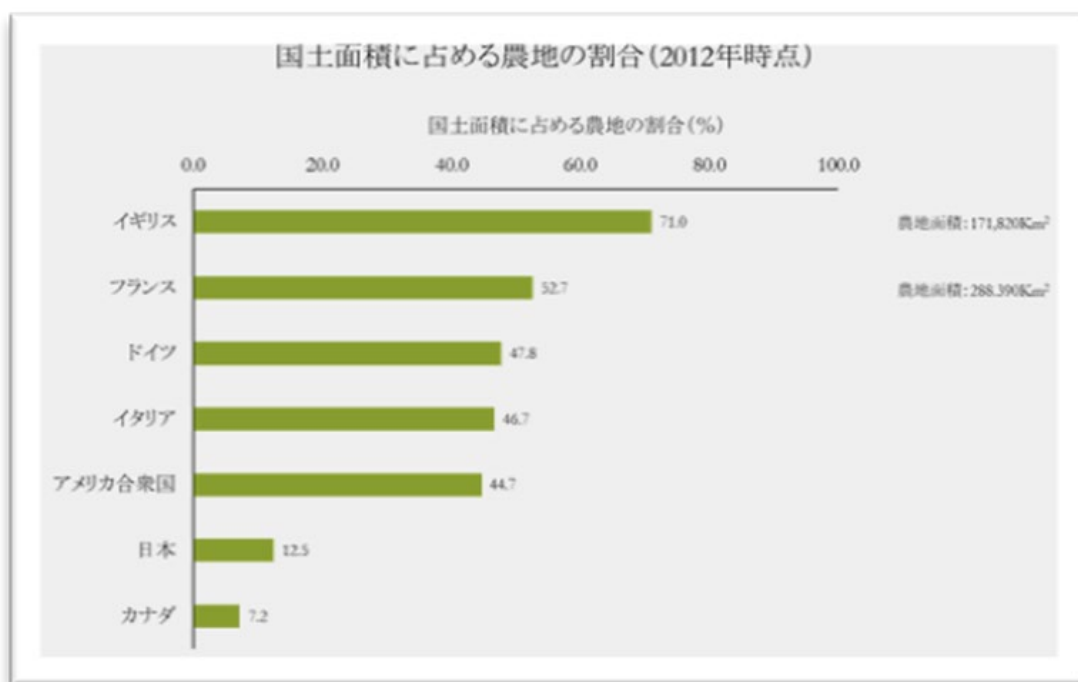


図5-3 国土面積に占める農地の割合（2012年）

令和4年では農業就業人口は122.6万人に減少、平均年齢68.4歳と高齢化が進んでいる。世界の国々の国土面積に占める農地面積の割合も森林が多い日本は極端に国土に占める農地面積の割合が低い。イギリスの国土は242,495平方キロメートルで日本の377,915平方キロメートルの3分の2だが、そのほとんどが可住地で国土の70%が農地面積である。日本は荒廃農地の現状も厳しい。全荒廃農地約28万haのうち、再生利用が困難と見込まれる農地は平成21年には13.7万haであったが、令和2年には19.2万haに増え、再生利用が可能な荒廃農地はこの10年ほどで、15.1万haから9.0万haに減少している。

このような農業環境の劣化の中、日本は令和12年度までの自給率達成目標はカロリーベースで総合食料自給率を45%、生産額ベースで75%、飼料自給率を34%、食料国産率を供給熱ベースで53%、生産額ベースで79%と設定している。現状は令和3年度概算でカロリーベース38%。前年の令和2年度から1%上昇しているが、国が農業者に目標達成を期待するのはまず、食料の自給率を上げるための耕作であって、それもなかなか難しい状況下で、再生利用が可能な農地9.0万haを誰が耕して農地にしバイオエタノール用作物を育てるのか。耕作をしていない農地がある、という数字だけでは現実の解決につながらない。バイオエタノール用のトウモロコシやコメの生産見通しは現状下では難しいというのが全国農業会議所の見解である。

(3) バイオエタノール生産に向けた意識改革の必要性

基本的に農業関係者は「食料を生産する」という目的のために、質や量をより良いものにしてしようと研究し努力をしている。人の口に入るもの、命の糧である食料なのだから安全第一、そしておいしさの追求を怠れない、と同時においしさは作る喜びや生産者のプライドでもある。しかしバイオエタノールは食料と違い「エネルギーを生産する」ので、エタノールとしての質は求められるがおいしさは関係ない。生産者としてはむしろ、生活に欠くことのできないエネルギー生産者としてのプライドを持つべきで、農林水産省や経済産業省はバイオエネルギー農地の設定や働き手の在り方などを「食料・農業・農村基本法」の政策として打ち出すべきと考える。

農林水産省は耕作放棄地対策として水田の畑化を方針として打ち出したが、水田は田んぼのダムと呼ばれているようにダムの4倍の保水量があり、地域の水管理を担っている。畑化によってめぐらされた水路が断たれると大雨の時の土砂崩れなど災害につながる恐れがある。一度断たれた水路の復元は難しい。里山の風景を保ち、水田を生かすためにもバイオエタノール田んぼとしての水田の利用活用を農林水産省は経済産業省と共にプロジェクトを組んで進めていただきたい。

#### 5.4 下水汚泥と再生エネルギー

下水汚泥はこれまでも肥料用コンポストなどがつくられてきたが、下水汚泥資源の再利用の取組状況はどのようになっているのだろうか（図5-4）。

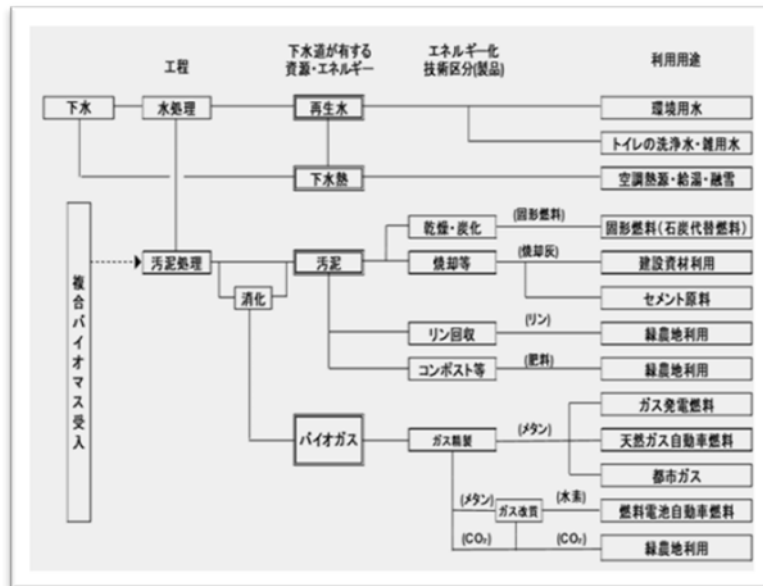


図5-4 下水道資源の利用用途フロー

令和4年度の国土交通省調べでは『約1,000個所の下水処理場で肥料利用に取り組んでいるものの、複数の利用・処分の一つとして肥料利用を実施する処理場が多く、全汚泥発生量に対する肥料利用の割合は1割にとどまる。』とある（図5-5）。

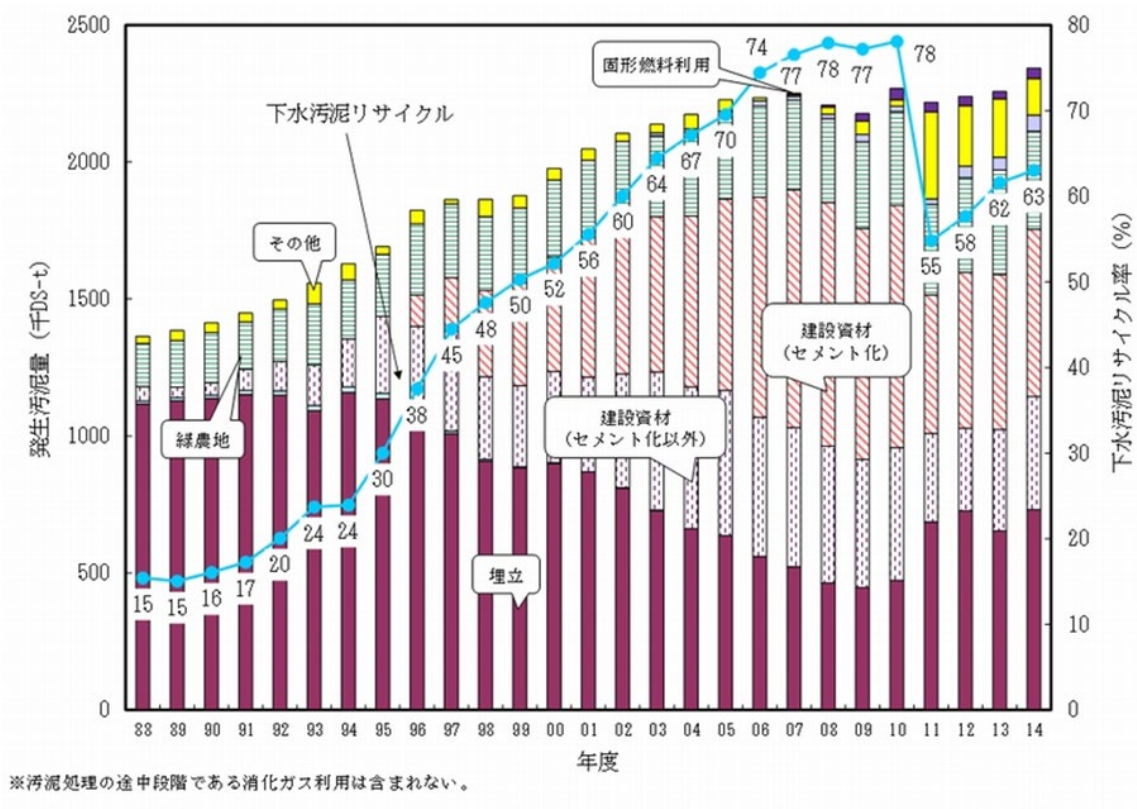


図5-5 下水汚泥の年間発生量とそのリサイクル率

下水道分野における温室効果ガス排出とポテンシャル  
[下水道：脱炭素化／資源・エネルギー利用 - 国土交通省 \(mlit.go.jp\)](http://mlit.go.jp)

これは下水汚泥は肥料にリサイクルされるが、肥料として再利用されるのは、実際にはその1割でしかなかったということで、汚泥をリユースしていくことが脱炭素社会にとって重要ということが理解されてこなかったといえる。農林水産省、国土交通省ほか関係機関が連携して推進策を検討する「下水汚泥の肥料利用の拡大に向けた官民検討会」を設立したのは令和4年10月である。それまでも都道府縣市町村レベル、つまり各自治体で下水汚泥の肥料化の取組は続いていたが、肥料利用は約1割にとどまっていたことになる。

地方公共団体に1500ほどある下水道管理所を正会員として技術指導や提言等を行っている公益社団法人日本下水道協会によると、汚泥には肥料としてのリンが豊富に含まれ、作物の肥料としてのコンポストがつくられていたが、近隣の住民に1袋100円で販売されたり無料で配ったりされていたという。コンポストを作っても付加価値もつかず、商品としての採算が合わない、下水道関係者にとっても農業者にとってもそれは無用の産物であったのかもしれない。

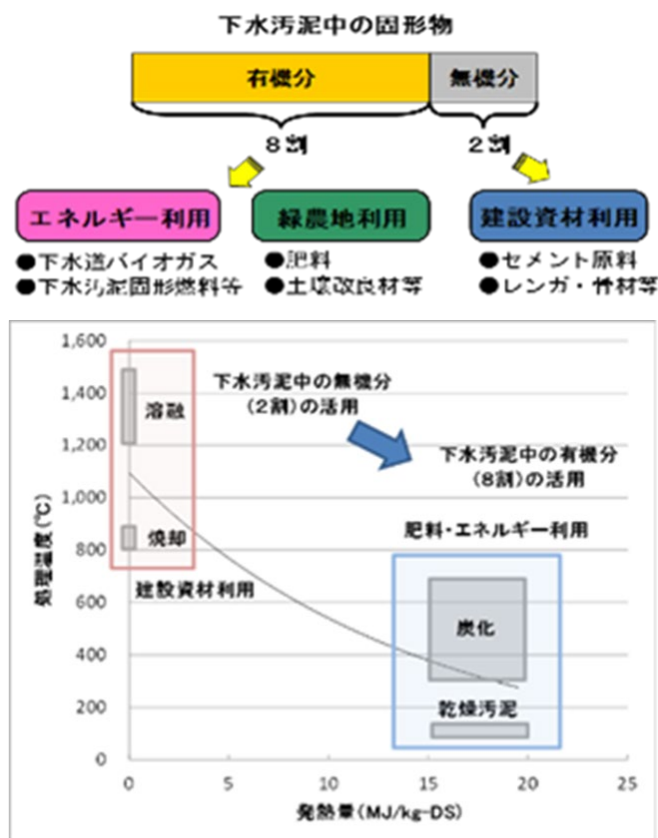


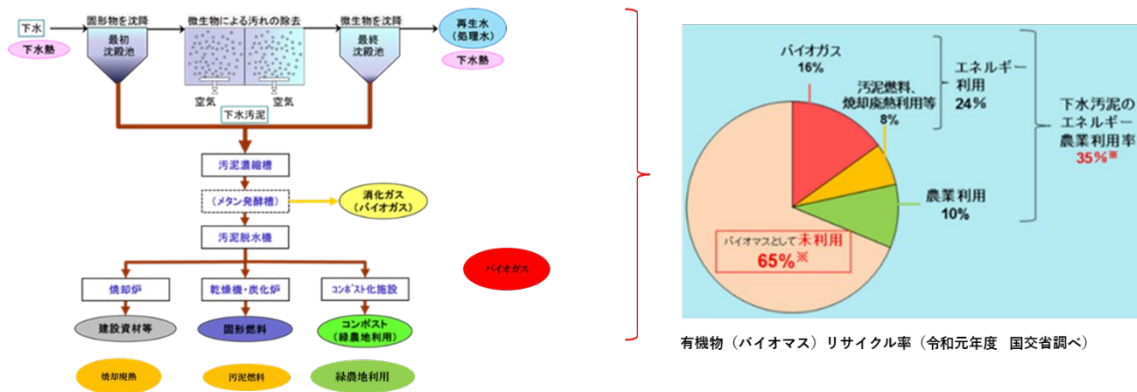
図5-6 下水汚泥の組成と処理温度の関係

(1) コストと採算

下水道は20年から30年で老朽化する。地方の下水道管理所によってはリサイクルに取り組むには費用対効果のメリットがなく、事業に取り組むことがむずかしいところもある。理想としてはメタンも取り出し発電と残渣汚泥をコンポスト、更に残ったものをボイラーで燃やす、という考えがあるが、現状としては2000カ所の下水処理場のうちメタンを取り出しているのは200ほどになる。処理コストや維持管理費がかかるので、東京、大阪などの政令都市や中核都市でしか現状ではできない。スケールメリットを考え、地域ごとにいくつかの処理場をまとめて大きな施設で処理をする、ということであればメタンも採算がとれる。現状は以下の流れで処理されている。

バイオマス→汚泥処理→汚泥の10%・・・リン回収、肥料コンポスト  
 →バイオガス→メタン20%・・・メタン⇒発電-炭化  
 セメントの材料や建築資材にしてあとの20~30%は捨てる（小規模の場合）

図5-7 下水道資源の利用用途 下水汚泥リサイクル率



・下水処理場から発生する汚泥中有機物の有効利用率に着目したバイオマスリサイクル率がある。  
 ・令和元年実績においてバイオマスリサイクル率は約35%(エネルギー利用率24%+緑農地利用率10%)に止まっている。

下水汚泥は人口に比例して出る。有機系の固まりで炭素系がはいっているけれども油脂系が入っていないのでバイオエタノールにそのままでは向いていないかもしれない。しかし、ユーグレナなど藻類を培養することでエタノールを抽出ということがすでに筑波大学で始まっている。東北大学と筑波大学は、藻類が生成する炭化水素を輸送用のバイオ燃料に変換する新手法を開発した。震災の被害を受けた東北地方の復興プロジェクトとして行われている藻類を活用して都市下水を浄化し、同時にバイオ燃料を生成する次世代技術開発の一環として開発されたもので、バイオ燃料の実用化への貢献が期待される。

5.5 食料残渣と再生エネルギー

一つの実証がある。地域で収集された食品廃棄物からエタノールを製造し、その地域でエネルギー利用をしていく地産地消・地域循環型事業の持続可能性をNEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)の委託を受け、2005年から5年間、事業化実験に取り組んだ実証記録である。論文は「食品廃棄物からのバイオエタノール化技術の開発」(著者日高亮太氏・新日鉄エンジニアリング技術開発研究所)。北九州市の事業系一般廃棄物収集運搬事業者、西原商事と実証実験をした記録である。

食品廃棄物は家庭からの一般廃棄物、商店などからの事業系廃棄物、食品工場からなどの産業廃棄物がある。特徴は多種多様、分別が進んでいないためリサイクル率は 20%。が廃棄物焼却施設へ隣接してエタノール製造プラントを建てることで、エタノールに製造に必要な熱や電気エネルギーを回収、エタノール化で排出される残渣類も焼却施設を使って処理でき、そこからまた熱回収をするといったバイオマスエネルギーの利用の新しい取り組みである（図 5-8、図 5-9）。

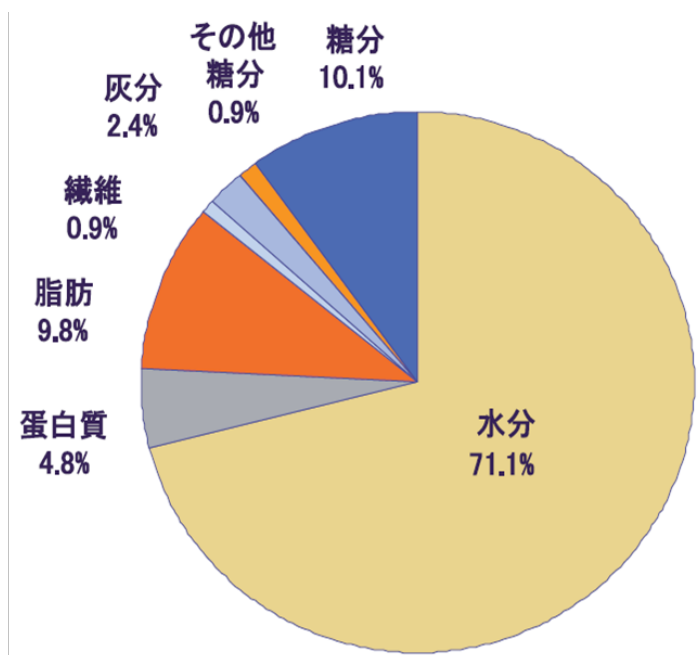


図5-8 食品廃棄物の成分

新日鉄エンジニアリング技報 食品廃棄物からのバイオエタノール化技術の開発  
[2-論文3 日高亮太他/論文 日高亮太他 \(写真入り\) \(nipponsteel.com\)](#)

対象人口は 45 万人 廃棄物発生量 410 t/日→うちエタノール化対象食品 63 t/日  
 廃棄物焼却施設 540 t/日

この実証実験の結果 目標生ごみ 10 トン中に含まれる 980kg の脂肪から 660 kgの油の回収をしている。このことから廃棄物焼却施設との併合でバイオエタノール生産を全国で行えば、2030 年ごろにはエタノール 600 万 kl/年、バイオディーゼル 10~20 万 kl の生産が可能という結論に至った。

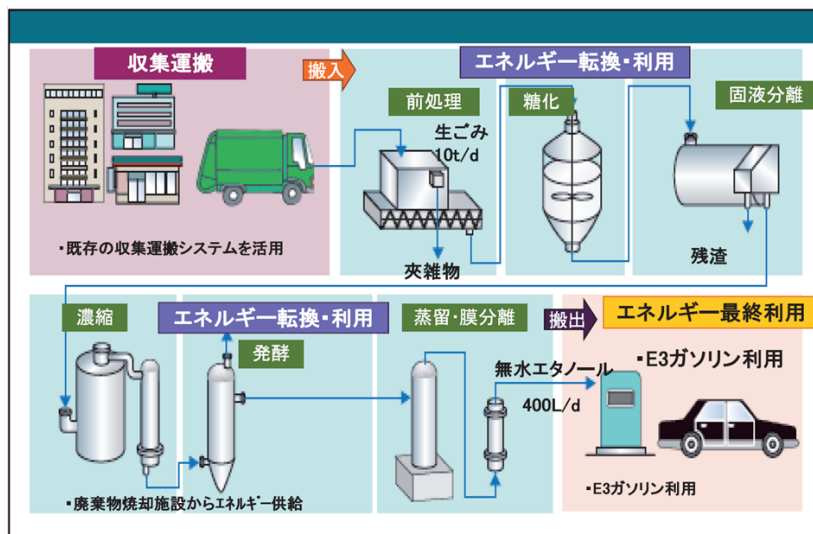


図5-9 食品廃棄物からのバイオエタノール製造と利用

新日鉄エンジニアリング技報 食品廃棄物からのバイオエタノール化技術の開発  
 2-論文3 日高亮太他/論文 日高亮太他 (写真入り) (nipponsteel.com)

しかし不思議なことにこの成功の記録は国によって実行はされなかった。各地で行われていたバイオエタノール化への道は突如門が閉じられる。なぜ、このような成功例が実験で終わるのではなく、その設備を使ってビジネス展開されなかったのか、当時、実験に協力していた西原商事へ電話で事情を伺った。廃棄物焼却施設に隣接して建てられたバイオエタノールプラントは実験終了とともに撤去されたとのこと。「商業ベースに載せるには費用対効果が悪かったのか、作ってもニーズがなかったのか」と明確な理由はわからなかったが、展開できるならビジネスとして続けられたらよかった、という思いが伝わってきた。国には「検討会」「実証実験」の次の「決断」が迫られている。食品残渣の膨大な量をバイオエタノールに変える時が来ているのではないだろうか。

世界のまだ食べられる残飯 13億トン/年  
 日本のまだ食べられる残飯 612万トン/年  
 日本の国民1人当たり残飯 お茶碗1杯分/日

このプロジェクトが継続されなかった理由は明らかではないが、時期を同じくして2011年3月11日マグニチュード9.0の東日本大震災が発生している。これは1900年以降世界で4番目の規模の地震で多大な被災者を出し、未曾有の大津波は東京電力福島第一原子力発電所を襲い、そのレベルは放射能の広範囲な影響を伴う事故として国際原子力・放射線事象評価尺度においてレベル7（広範囲な影響を伴う事故）として日本の原子力安全・保安院より国際原子力機関に報告された。



被災によってさまざまなエネルギーの供給に問題が発生し、この事故で災害時における日本のエネルギー供給の脆弱性が露呈した。この事故に伴い、各地の原子力発電所が一斉に点検、更に運転を中止、という事態になり、国はこの時以降対応に追われることになる。特に石油は仙台製油所をはじめとする6製油所が被災し、東北太平洋岸の油槽所のほとんどが出荷不能に陥った。

こうしたことを教訓に災害時における石油の安定供給に向け、石油備蓄法の改正、製油所油槽所の強靱化、中核SSの強化、といった政策をとった。このような石油への依存が高まる状況下で、地球温暖化によるCO2削減と石油に代わる代替エネルギーへの転換は期を逸したとも考えられる。

いずれにしてもプロジェクトの継続はされないまま現在に至っているのは残念であり、このようなCO2削減が現実となった今、評価を再検討すべきではないだろうか。

表5-3 海外でのバイオ燃料の持続可能性基準の考え方2011年当時)

検討主体・制度名	概要
EU 再生可能エネルギー指令	2009年6月に発効。「2010年までに輸送用燃料の5.75%、2020年までに10%をバイオ燃料及び再生可能エネルギーとする」という目標に加え、当該目標達成に使用することができるバイオ燃料の持続可能性基準を制定。
英国 Renewable Portfolio Standard	2008年4月より、輸送用燃料の供給事業者に対して、バイオ燃料の導入を義務付け。この一環として、供給したバイオ燃料の原料や、温室効果ガス排出量等の情報も報告を義務化。
米国 Energy Independence and Security Act of 2007	ライフサイクルで基準以上の温室効果ガス削減量があるバイオ燃料のみを、2010年以降のRFS2（改訂再生可能燃料導入義務、Renewable Fuel Standard）制度の対象とすることを規定。
米国カリフォルニア州 Low Carbon Fuel Standard	運輸部門からのGHG排出原単位を、ライフサイクルを考慮した上で、10%低減させることを目標とする。2008年末より施行。
ブラジル Brazilian Program for Biofuels Certification	Inmetro（度量衡工業品質規格化研究所）を中心に、バイオ燃料の認証制度について、2007年7月から検討開始。

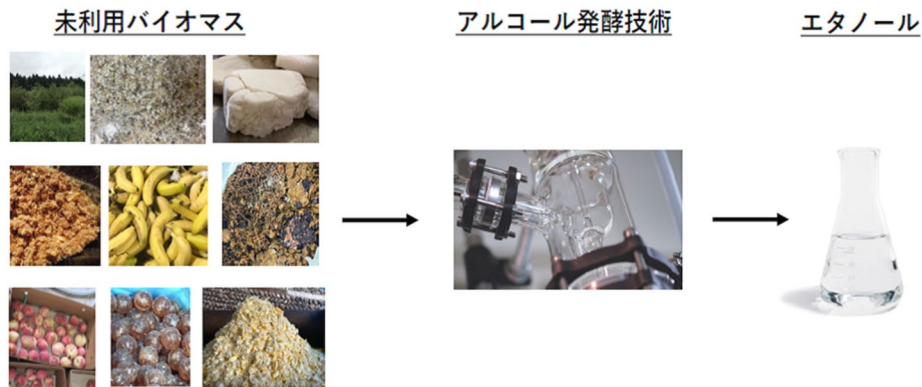
➤ 先行するEU、英国等では、LCAでの温室効果ガス削減効果、生物多様性、食料競合等の項目を基準として策定。

		EU：再生可能エネルギー導入促進指令	英国：RTFO	米国：RFS2
個別の 求められる バイオ燃料 基準	環境	LCAでの温室効果ガス削減効果 ・2017年以降は <b>50%削減</b> 。 (2017年までは35%削減。)	・2010年以降は <b>50%削減</b> 。	・セルロース系（先進型）バイオ燃料は <b>50～60%削減</b> 。 (既存のトウモロコシ由来のエタノールについては20%削減。)
	生物多様性への影響	・生物多様性が高く、消失懸念のある土地での原料生産を禁止。	・現地法の遵守。 ・生物多様性の高い土地での原料生産を禁止。	—
	その他の環境	・EU域内の生産については、EUの農業規制、環境規制に準拠。	・水資源の適切な利用。 ・大気汚染につながる焼畑・廃棄物焼却を行っていないこと。	—
	社会	—	・労働者の権利保護。 ・土地所有権の確保など。	—
政府が監視する項目 (食料競合など)		欧州委員会が2年毎に、バイオ燃料原料の需要増が、食料価格・原料生産地に与える社会影響について、調査。	個別事業者の範疇を超えた間接影響については、再生可能燃料機構が、モニタリング・分析。	規制事前評価の実施、間接影響（食料・飼料価格等）についても事後評価。

## 5.6 ゼロエミッション時代を生きる

すべて残さず商品化する、をモットーにビジネス展開をしている女性がいる。株式会社ファーマンステーション代表取締役酒井里奈氏。彼女のビジネスにごみはない。

**国内随一の未利用バイオマス由来のバイオエタノール製造実績**  
バイオエタノール化を実現した未利用バイオマスは10種以上  
未利用バイオマス由来エタノールの商用利用は案件ベースで100件以上



**公表済み（その他未公表試験多数）**

米（休耕田・規格外）、炊飯米（余剰炊飯米）、りんご搾りかす（搾汁残渣）、バナナ（規格外）、じゃがいも（規格外）、桃（規格外）、ゆず搾りかす（搾汁残渣）、飴（規格外）等

ファームステーションホームページより

青森のリンゴジュース製造者が大量の搾りかすの処分をどうすべきか考えている。リンゴは搾りかすでも甘い独特の香りがする。かたや、牛の健康に良い飼料を求めている酪農家がいる。ファームステーションは両者にとって良い方法として、まず、リンゴの搾りかすで牛の餌を作る事を考える。牛はリンゴの香りに大喜びで飼料を食べる。事業はそこでは終わらない。飼料を作った後、更に食料残渣としてわずかに淡いリンゴの香りが残る皮の残渣がでる。そこでリンゴの皮の残渣でティッシュを作る、という具合に最後の最後まで使い切るビジネスをしている。発酵の技術をもとに多用途利用可能なエタノール等の発酵原料、バイオマス発酵技術プラットフォーム、フードロス等未利用資源削減問題に取り組み、地域循環・一次産業の活性化をビジネスとしている。これからのバイオエタノールビジネスには酒井氏のようにフードロスを徹底するプロデューサーが必要と思う。

## 5.7 結び

「エネルギー」をひと言で表わす日本語はない。言葉として初めて「エネルギー」と呼んだのはイギリスの機械技師であり物理学、工学、土木工学の研究者であるウィリアム・ランキンであるが、歴史上、「てこや滑車など器具を用いた場合、仕事の量を増加させる

ことは出来ない」と最初に仕事の量を問題にする事でエネルギー概念への端緒を与えたのはレオナルド・ダ・ビンチと言われている。エネルギーとは「基本的な物理量のひとつ」「仕事をする事ができる量・能力」「人間の活動の力」と辞書にある。

西洋からの発想で生まれた言葉「エネルギー」に日本語を充てることが出来なかったのか、そのまま「エネルギー」という言葉を輸入し、石油というエネルギーも輸入というかたちで外から受け入れ私たちの生活を豊かにし、産業を発展させてきた日本。しかし今、世界は潤沢に食料やエネルギーを供給出来る時代ではなくなった。安全な食料・エネルギーを如何に生産し、再生可能にしていくか、消費型から循環型社会へと動き出した。

少子高齢社会でバイオエネルギー供給自立へ向け、生産可能な方法は何か。

日本の農地には耕作放棄地が確かにあるが、農業従事者が減少の一途である。このような危機的状況下で、食料でも飼料でもないバイオエネルギーとしての米等作物を栽培する新規参入農家を国は育成し助成していく方針を早急に立てるべきと考える。令和5年4月に施行された改正農業経営基盤強化促進法により農業委員会組織は概ね10年後の耕作者を農地一筆毎に明らかにし、地域が目指す農地利用の姿を具体化する「地域計画」の基となる「目標地図」の素案作りにとりかかる。

会社方式にして企業がバイオ作物を作り、エタノールを生産、販売することにビジネスチャンスがあるかもしれないし、移住して農業へ新規参入する人も増えており、バイオエネルギーのためのコメ等を生産する人達を「農地を使った新しい製造業者」と位置付けて農林水産省と経済産業省が合同プロジェクトを作り、国の支援を行うことが必要と思われる。

国のエネルギー政策としてどうあるべきか。

国としては日本のエネルギーを安全に供給するための国策として、どのような事態が起きようともエネルギー供給網を維持できる体制を選択すべきで、地産地消・地域循環型事業として「食品廃棄物からのバイオエタノール化」を全国展開すべきと考える。

私は食料残渣からエタノールを作る方法に関心がある。必ず食品残渣、ごみは出るからだ。そしてやはり下水汚泥のリンやメタンにも期待したい。そしてファーメーションのようなフードロスを徹底してゼロにしていく企業の存在は重要である。各界、規模の大小、東京と地方、世界と日本というように多角的に結ぶネットワークを構築することがこれからの脱石油、バイオの時代には重要と考えている。

<情報源>

5.3 日本の農地情勢とバイオエタノールの可能性

資料提供 一般社団法人 全国農業会議所

5.4 下水汚泥と再生エネルギー

資料提供 公益社団法人 日本下水道協会

5.5 食料残渣と再生エネルギー

食品廃棄物からのバイオエタノール化技術の開発」

参考資料 日鉄エンジニアリング株式会社：電話取材 株式会社西原商事

5.6 ゼロエミッション時代を生きる

資料提供 株式会社ファーマンステーション 代表取締役 酒井里奈

第6章 なぜ、日本の車は「バイオエタノール燃料」で世界から取り残されたのか！

元毎日新聞記者 小島 正美

## 1.車のエタノール燃料の現在と過去

### 6.1 「はじめに」

#### 世界中では「E10」ガソリンが当たり前

米国のガソリンスタンドと日本のスタンドの大きな違いが何かをご存じだろうか。米国のスタンドには「E10」や「E85」と書かれた大きな文字の看板（写真1）がどこにでも見られる。



写真 6-1 米国のスタンドで見られる「E10」や「E10」などの看板

E10の「E」はエタノール、「10」は10%のことだ。つまり、「E10」は通常のガソリンにエタノールが10%混合されているガソリンのことだ。アメリカでは、ガソリン車のほとんどの車がこの「E10」で走る。

いやアメリカだけでなく、フランスやドイツなどEU（欧州連合）諸国、ブラジル、カナダ、インドなどでも「E10」を給油した車が走っている（図1）。

世界では「E10」「E25」「E85」で走る車が普通に見られるのに、日本のガソリンスタンドでは「E10」の看板さえ見ることはほとんどない。日本だけが世界の趨勢から取り残された光景が長く続いているのである。

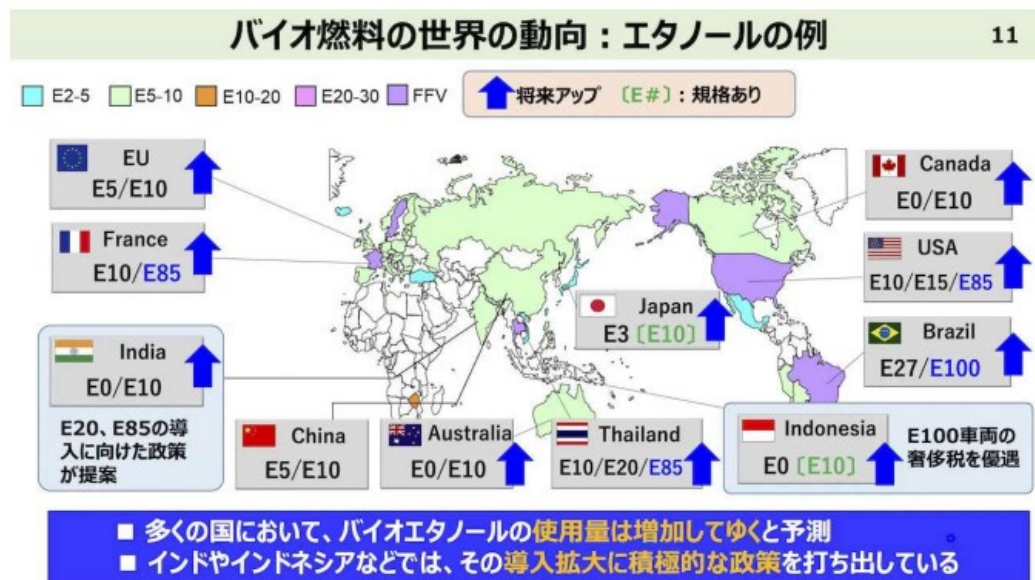
世界と日本でこれほど大きな差があるにもかかわらず、不思議にも、その違いの重大な意味が日本の国民にほとんど伝わっていない。今後、「E10」が普及するかどうかは、実は、気候変動の行方に大きな影響を与えることになるのだが、その重要な認識をメディアがしっかりと伝えていないせいか、日本国内の「E」（エタノール）に対する認知度は恐ろしく遅れている。

### 6.2 車のエタノールはカーボンニュートラル

では、なぜ、ガソリンにエタノールが混合されていることが重要なのだろうか。

エタノールは、お酒のアルコールのことだ。トウモロコシやサトウキビなど植物の糖分を

発酵させてつくる。そのエタノールを車の燃料として使えば、走行中に CO2 (二酸化炭素) は発生するが、その CO2 はもともとトウモロコシやサトウキビなどの植物が光合成で固定したものである。



『バイオ燃料（エタノール）の世界の動向』 出所：一般社団法人日本自動車工業会

図 6-1 エタノール混合ガソリンを使う世界の国々の様子（日本自動車工業会より）

つまり、大気中にあった CO2 はいったん植物に入り、その植物から得られたエタノールを燃やしても、CO2 は再び大気にもどるため、CO2 は増えも減りもしない。だから、車の燃料になるエタノールはカーボンニュートラル（カーボンは炭素、ニュートラルは中立）なのだ。エタノールが 10%混ざられているということは、その分だけ石油系のガソリンが節約されることを意味する。日本の温室効果ガスの排出量のうち、約 2 割は車やトラックなど運輸部門が占める。ガソリンに 10%のエタノールを混ぜるだけでも、温室効果ガスの削減効果は大きい。つまり、「E10」の燃料は、ガソリン 100%に比べると、CO2 の発生量が少なく、地球温暖化の防止になるというわけである。

### 6.3 車はアルコールで走るの？

でも、もしかしたら、一般に「車はガソリンで走るもの」という固定観念があるせいか、植物由来のアルコール（エタノール）で「車は本当に走るの？」といぶかしく思う人がいるかもしれない。実は私もその一人だった。



写真6-2 1908年に登場したT型フォード

しかし、歴史をさかのぼれば、20世紀初頭、米国のフォード社が最初につくった車「T型フォード」(写真2)はアルコールとガソリンの両方で走る車だった。車の燃料がアルコールというのは決して異端でも奇想天外でもなんでもない。

それでも、「アルコールで本当に速く走れるのか?」と素朴な疑問を持つ人がいるような気がする。これも心配ご無用である。



写真6-3 インディカーレース

スピードを競うレーシングカーの世界三大レースのひとつとされる「インディカー」シリーズで走るレーシングカー(写真3)は2006年からエタノールを使っている。現在はなんとエタノールが85%も占める「E85」を使って競い合っている。

エタノールは植物を原料にしているせいか、そんな弱々しい植物由来の燃料で車が速く走れるのかというイメージもありそうだが、実は、エタノールはオクタン価が高いのため、高出力が求められるカーレースにふさわしい燃料なのである。よく知られているように、オクタン価が高いと異常燃焼によるノッキングが起きにくくなり、高いパワーが出るのだ。カ

ーレースで事故があった場合、ガソリンだと水で消火することができないが、エタノールだと水で消せる利点もある。

ここまでの話で、エタノールを燃料とする車はCO<sub>2</sub>の発生量が少なく、車の性能自体にも影響がないことが分かったはずだ。

#### 6.4 ブラジルはいかにしてエタノールを普及させたのか

では、なぜ世界第3位のGDP（国内総生産）を誇り、世界に車を輸出する日本でエタノール燃料が普及しなかったのだろうか。それには、米国とともに世界で最もエタノール燃料が普及しているブラジルの例が参考になるだろう。

ブラジルのエタノール利用の歴史は古い。なんと1930年代にガソリンに5%のエタノール混合を義務づけた。エタノールの原料となるサトウキビの生産を維持するためだった。日本では、それから100年近くたったいまでもエタノール5%混合ガソリンの普及が実現していない。ブラジルの取り組みがいかに早いかわかるだろう。

1975年になるとブラジル政府は「国家アルコール計画」をスタートさせた。生産者から買い入れるエタノール価格を固定させ、エタノールがガソリンに対して割安になるような優遇措置を講じたのだ。当時は、石油の価格が高騰する第一次オイルショック（1973年）が起きたあとだった。石油の約8割を海外からの輸入に依存していたのを転換させる大胆な試みだった。

1990年代にはいったん政府の財政難などでエタノール生産が落ち込んだものの、2003年に転機が訪れた。ドイツのフォルクスワーゲン社が、エタノールがどんな割合で混合されていても走れるフレックス車（Flexible-fuel vehicle。センサーで燃料を検知し、どんな燃料の混合率でも走る）を発売したのだ。フレックス車はガソリン100%でも、エタノール100%でも走ることができる。フレックス車を運転する消費者は、ガソリンの値段とエタノールの値段を見比べて、安いほうを選んで運転できる。ちなみに日本の自動車メーカーでも、ホンダが2006年、トヨタが2007年から、ブラジルでフレックス車を生産・販売している。

これで一気にエタノール混合ガソリンが普及し始めた。そのころにはエタノールを給油するスタンドの整備（インフラ基盤）も進んでいた。いまやブラジルではフレックス車が全自動車の8割以上を占める。ほぼガソリン車しか普及していない日本とは全く様相が異なる。

ブラジルの歴史を見て分かるのは、サトウキビと砂糖という自国の基幹産業とエネルギーの自給率を守るために、国益にかなう形で政府がエタノール産業の振興に努めてきたことだ。国家や政治家がやる気を起こせば、普及するという好例である。

#### 6.5 日本はE T B Eを配合した「バイオガソリン」

では、日本ではエタノールを混ぜたガソリンが全く存在しなかった、または存在していないかという、実はそうではない。ガソリンスタンドへ行っても、エタノールを混ぜたガソ



リンという看板がないため、ほとんどの人は知らないが、実は、ごく少量ではあるものの、知らぬ間に流通していたのだ。

その名は「ETBE 配合のバイオガソリン」という。ETBE は「エチル・ターシャリー・ブチル・エーテル」の頭文字をとった略称だ。このバイオガソリンは、植物原料由来のエタノールと石油系ガスのイソブテンを合成した ETBE をガソリンに配合したものだ。つまり、日本は「ETBE 配合バイオガソリン」という名でエタノールが目に見えにくい形で流通してきたのである。



写真 6-4 ETBE の製造装置（コスモ石油の HP から）

なぜ、ETBE をガソリンに混ぜたかといえば、ETBE のほうがガソリンの性質に近いからだ。エタノールのままだとエンジンの金属部品を腐食させたり、ゴム材を膨潤させたり、さらに水に溶けだして蒸発しやすいという弱点があるからだ。エタノールの混合率が 3%（つまり、E 3）程度なら、通常の車でも支障はないが、もっと多く混ぜようとする ETBE のほうが車にとって安心という理由で、日本の業界は ETBE という形でエタノールを活用してきたのだ。つまり、日本で流通するガソリンにはバイオエタノールが ETBE という形で 3%程度混合されて流通してきたのである。

実際、政府は ETBE を混ぜたガソリンで市販の車に悪影響がないことを確かめている。そして、石油業界は 2007 年から、ETBE 混合ガソリン（バイオガソリン）を販売し始めた。当初は ETBE を輸入していたが、2011 年にコスモ石油株式会社が大阪府堺市にある製油所に ETBE 製造装置（写真 4）を完成させ、国産のバイオガソリンが流通するようになった。日本でバイオガソリンといえば、この ETBE 混合ガソリンのことだ。現在、ETBE 向けのエタノールは米国やブラジルから輸入している。

その後、2010年に非化石エネルギーの使用促進を主な目的とする「エネルギー供給構造高度化法」が法制化され、ETBE混合ガソリンの導入目標量は以前より増え、2018年度～2022年度の導入目標量は毎年50万kl（キロリットル・原油換算）と定められた。この目標は予定通りに達成されているが、日本国内で使用されるガソリン全体の2%にも満たない少量だ。日本でエタノールが目に見えにくい形で流通していた背景には、こういう事情があったのだ。

正直なところ、私（筆者）は自分で車を使っているが、ETBEガソリンという形でエタノールが流通していることを知らなかった。エタノールをもっと普及させるためにはメディアがこの現状を国民にもっと広く知らせることが必要だろう。国民の認知度を上げるためにも、ガソリンスタンドにもっと「エタノール使用のガソリン」と分かるような看板も必要だろう。

#### 6.6 名古屋と大阪に先進的な「E3」スタンド

これまで日本ではガソリンスタンドに「E」の文字が見えないと述べてきたのだが、実をいうと、ごく一部の地域ではあるが、日本にもETBEではなく、エタノールを直接、ガソリンに混ぜる直接混合方式でエタノールを3%混ぜたガソリン「E3」を販売しているスタンドがある。



写真 6-5 大阪府内で見られる「E3」の看板を掲げたスタンド

石油製品の輸入・販売などを手掛ける名古屋市の中川物産株式会社である。米国からエタノールを輸入し、名古屋市と大阪市にある2カ所の油槽所（ゆそうじょ・製油所で生産されたガソリンなどの石油製品を一時的に貯蔵し、タンクローリーなどに積み込む施設）でガソリンに混合して製造している。この「E3」はいわば中川物産独自のブランドバイオガソリンだ。2023年1月現在、愛知県を中心に約100カ所のスタンドで販売している。

このうち名古屋市内と大阪府内の一部のスタンド（写真5）では「E3」の看板があるが、大手元売りが製造・販売しているETBE方式と同様、「E3」は法律上、通常のガソリンと同

等品という取り扱いでされるため、残念ながら大半のスタンドには「E3」の看板がない。このため、消費者は特に意識することなく、「ETBE ガソリン」や「E3」を給油しているようだ。

ではなぜ、名古屋市の中堅会社の「中川物産」が日本の先頭を切る先進的な取り組みを始めたのか。会社によると、2008年ごろ、温室効果ガスの削減を決めた京都議定書（2005年に発効）の流れを受けて、地球環境によい事業をしようとの狙いから、CO<sub>2</sub>の排出削減を目指す検討を始めた。当初は、大手元売会社と同調してETBE混合ガソリンを扱おうとしたが、当時のETBE価格は高かったため、小規模な事業者にとってはとても採算に合わなかったという。ちょうどそのころ大阪府が環境省の支援を受けて、エタノールとガソリンを国内で混ぜて製造・販売する実証事業を行っていた。その実証事業を調べた結果、3%のエタノールを混ぜても、通常のガソリンと品質的に差がないことが分かった。

そこで、エタノールとガソリンを混合する設備を油槽所内に新設し、2011年から、商業ベースとしては日本初となる「E3」の製造・販売を始めた。この事業は環境省のエコ燃料利用推進補助事業に採用され、油槽所を建設する費用として1億円の補助を受けた。いまから見ると、とても先進的な取り組みだったが、あまり宣伝されなかったせいも、いまに至るまでほとんど知られていない。

中川物産は「E3」の卸売り価格をガソリンよりも若干値引いて販売している。2011年から12年間、「E3」を販売しているが、品質的なトラブルはない。「E3」の販売量は順調に伸びている。2011年度の販売量は5万7000kℓだったが、年々伸び、2020年度は約17万2000kℓと10年間で約3倍も伸びた。

## 6.7 いよいよ「E7」も販売へ

「E3」はETBE方式と比べて、比較的容易に製造できるため、この中川物産の例を見ても分かる通り、「E3」なら、いまずぐにでも全国に広げることが可能だ。ならば、環境問題に関心の強い消費者団体がエタノール入りガソリンをもっと使おうという運動を起こしてもよさそうだが、そういう動きを見たことがない。やはりメディアも含めて、植物由来のバイオエタノールに関する関心をもっと呼び起こす必要があるだろう。国民やメディアの関心の欠如が現在の事態を招いたとも言えるのではないか。

そういう中で中川物産はさらに前進する。2023年6月から、「E7」の製造・販売を始める予定だ。「E3」以上の混合比率だと消防法などで「E3」とは別の商品として扱う必要があり、ガソリンスタンドに「E7」専用の貯蔵・給油設備が必要になる。そうした問題をクリアしたうえで、さらに全国に先駆けて「E7」という独自のブランドガソリンを販売しようとしているわけだ。

ただし、「E7」は、日産自動車株式会社やマツダ株式会社の車が「E7」に対応していないため、給油できないという課題は残る。

こうした中川物産の pionering な取り組みは全国の先例になるだろう。中川物産は社

員約 70 人の小規模な会社である。7%のエタノール混合といえども、これが全国に普及すれば、化石燃料由来のガソリンをそれだけ減らすことになり、CO2 の削減にもつながる。海外の「E10」「E85」と比べれば、まだまだ小さな一歩だが、日本全体からみれば、中川物産の取り組みは大きな一歩といえる。やればできるのだ。

## 6.8 大阪府の実証実験

中川物産の事例を見ても分かるように、「E3」や「E7」の普及は確実に可能だと分かる。では、今後、日本で「E10」は普及するのだろうか。

実は、日本でも「E10」の車が路上を走っていたことがある。「E10」を走らせる実証実験があったからだ。

たとえば、大阪府は環境省の委託を受けて、2009 年度から 2 年間、「高濃度バイオ燃料実証事業」を行った。国土交通大臣の認定を受けた 34 台の「E10」（写真 6）対応車が実際に走ったのである。車体には「E10 バイオエタノール 10%混合ガソリンで実証走行中」とのマグネット（写真 7）が貼られていた。知事公用車も「E10」対応車だった。いずれもトヨタ自動車からリース契約で借りた対応車だった。



写真 6-6 「E10」対応の車（カローラフィールダー・大阪府の HP から）

33 台のうち、大阪府が 27 台を使い、残る 6 台を民間会社（バイオエタノール・ジャパン・関西と中国精油株式会社）が使った。残念ながら一般市民の利用はなかった。「E10」の給油所は大阪府内に 3 カ所あったが、給油できたのは上記の 3 者のみで、一般のスタンドでは販売されなかった。

実証事業に一般市民が参加していなかったこともあり、この事業は全国的にはあまり知られないまま終了してしまっただ。3 つあった給油所は現在閉鎖されている。「E10」対応車はトヨタ自動車に返還された。この実証事業がうまくいけば、「E10」の普及に弾みがつい

ただろうが、対応車が少なく、補助金頼みでは普及しようがなかったといえる。



写真7-7 「E10」マグネット（大阪府のHPから）

現在、大阪府のホームページを見ると、大阪府内の4カ所（茨木市や堺市など）で「E3」の供給スタンド（写真5）紹介されているが、これは名古屋市の中川物産が供給している「E3」である。

## II. 国産エタノールははたして実現するのか？

### 6.9 電気自動車にも弱みはある

ブラジルやアメリカではなんなく「E10」が普及しているのに、日本では今後、「E10」の普及は望めないのだろうか。

いまカーボンニュートラルの観点から、車の世界でいま注目されているのは、いうまでもなく電気で走るEV（電気自動車・**Electric Vehicle**の略）だ。今後、電気自動車が増えていけば、植物由来のエタノールの存在感はなくなるのだろうか。

それは違う。電気自動車にも弱点があるからだ。確かに電気自動車は走行中にはCO<sub>2</sub>を排出しない。しかし、バッテリーが切れて充電するときに必要な電気は、石炭や天然ガスなどの化石燃料を使う火力発電や原子力発電の電気を使っているケースがいまも一般的である。さらに車のバッテリー（蓄電池）を生産するときにも大量の電気と化石燃料を使う。現状では電気自動車は化石燃料なしでは製造することもできないし、走ることもできないのだ。また、電気自動車は大雪などで立ち往生したときに充電量が長く持たず、災害時に弱い問題も抱える。

さらに別の問題もある。バッテリーの製造にはコバルト、ニッケル、マンガン、リチウムなどの希少金属（レアメタル）が不可欠だ。しかも、それらの金属資源は世界の一部の国に偏在している。問題の本質を数字でつかむことの重要性を指摘する本「世界のリアルは『数字』でつかめ！」（バーツラフ・シュミル・NHK出版）を読んでいたら、次のような記述に出会った。

「EVの生産は、ほかの形でも環境に悪影響を及ぼす。アメリカの経営コンサルティング、アーサー・D・リトル社の推定によれば、自動車の寿命を20年とした場合、EVの製造により従来型自動車の3倍の有害物質が排出されるという。EVのほうが大量の重金属を使用するというのがおもな理由だ」

電気自動車の普及は、有害な金属が環境に排出されるリスクだけでなく、希少金属を豊富に有する中国への依存を作り出す経済構造を生み出すリスクも想定される。こうしたリスク要因は植物由来のバイオエタノールの価値を高めることにつながる。

#### 6.10 「バイオ燃料・合成燃料議員推進連盟」誕生

日頃の経済ニュース見ていると、2030年あたりを境に電気自動車が増えていき、ガソリン車がなくなってしまうようなイメージを抱かせるが、それは大いなる誤解である。

確かに2030年以降に電気自動車の新規販売は世界的に増えていくだろう。しかし、だからといって、世界的には圧倒的に多いガソリン車がなくなるわけではない。2030年代～40年代になっても、ガソリン車が世界中で走り続けているのは間違いない。中古のガソリン車はいまから何十年間も存在し続けるからだ。そのことの重要性を指摘したのは、自民党の甘利明衆議院議員だ。

2023年1月18日に東京都内で「G7広島サミットへ、バイオマスの役割」と題したシンポジウムが行われた。米国ワシントンに本社を置き、アジア太平洋地域に特化した戦略アドバイザー会社の「バウアーグループアジア日本」(BGA Japan)が主催した。その基調講演で甘利氏は次のように熱く語った。

「いま、内燃エンジンの車(ガソリン車)が悪者にされているが、車自体が悪いわけではない。燃料をエタノールに替えれば、カーボンニュートラルになる。新規の販売が電気自動車に切り替わっても、今後も何十年間、車全体のうち9割近くは中古のガソリン車が占めることになる。電気自動車だって、化石燃料で発電された電気を充電している。エタノール燃料を使えば、むしろ電気自動車よりもカーボンニュートラルといえる場合もある。飛行機やトラックのEV化は難しい。その意味で依然として、バイオ燃料は重要だろう。しかもエタノール燃料をつくる技術はすでに完成された形で存在している。カーボンニュートラルの視点で見れば、エタノールはこれからも重要な燃料として位置づけされるだろう。耕作放棄地にバイオ燃料用の作物を植えて有効利用すれば、農業とバイオ燃料がつながることになる」(筆者で講演内容を要約)。

甘利氏の言葉は実に熱意に満ちていた。甘利氏は「国産のバイオ燃料や合成燃料の活用推進を目指す自民党有志の議員連盟」(バイオ燃料・合成燃料議員推進連盟)の会長を務める重鎮である。

甘利氏の講演を聞いた多くの人は、電気自動車だけがカーボンニュートラルではないことを理解したはずだ。

個人的な話ながら、私(筆者)はトヨタのプリウスを運転している。仮に、この「プリウ

ス」が「E85」（バイオエタノールの混合が85%）を燃料にして走れば、ガソリンの燃費がよいだけに、電気自動車よりも脱炭素の優等生ともいえるのではないか。

だれもが知るように、電気自動車は走行中にはCO<sub>2</sub>を排出しないが、その車に積み込まれたバッテリーの製造や充電時には化石燃料で発電された電気を使っているのが実情だ。長期的には見れば、いずれは電気自動車が主流になるだろうが、これから何十年間もの過渡期にはエタノールが依然として重要な燃料になりうるのだ。

甘利氏は講演で「ルールを制する者が世界を制する。EV化の流れは、EU（欧州連合）が日本の車産業をつぶすという意向で生まれたものだ」といった趣旨のことを述べた。全く同感である。欧米のルールに振り回されているのは、日本の基幹産業の発展はないだろう。甘利氏の話聞いていて、日本のトヨタが内燃エンジンと電気自動車の“二刀流”で活路を見出しうるように、日本は世界の流れとは別にエタノール燃料と電気自動車の両輪で経済発展を目指す独自の道があるような気もした。

#### 6.11 新潟で「米からエタノールをつくる」実験

植物由来のエタノールの重要性がこれからも高くなれば、いずれ日本でも国産のエタノールを製造する必要性が生じるだろう。タイではキャッサバなどを原料にしたエタノールが開発され、日本へ輸出する動きも出ていていると聞く。日本としても、使用するエタノールのすべてを輸入するわけにもいくまい。

では、日本でエタノールをつくるとしたら、何を原料にすればよいのだろうか。米国ではトウモロコシが主原料となっているが、日本は飼料向け、食用向けともほぼ全量のトウモロコシを海外から輸入している。この現状から見ると、たとえ水田をトウモロコシの畑に転換したとしても、国内でまかなうのはかなり難しい。そもそもトウモロコシは湿害に弱いため、日本の水田の転作には向かない。

だとしたら、コメしかない。実は、すでに日本でもコメを原料にしたバイオエタノールの製造、販売事業が行われたことがある。2007年度から5年間、農水省は「バイオ燃料地域利用モデル実証事業」を新潟県で実施した。JA全農（全国農業協同組合）がコメからエタノールを製造する工場を新潟市内に建設し、そのエタノールを全農新潟石油基地でガソリンに3%混ぜて、「E3」というグリーンガソリンを供給しようとする実験だった。

コメから車の燃料をつくれれば、畑作への転換が難しい水田の再活用にもなり、バイオエタノールの製造を通じて、地場産業の活性化が期待できる。この実証事業はエネルギーの地域循環型自給自足を目指す壮大な夢をもって行われた。

コメ由来のエタノールの製造は2009年に始まった。原料のイネは「北陸193号」。300農家が参加し、300ヘクタールで栽培された。目標は年間2200トンのコメから1000kℓのエタノール（ガソリン換算だと33000kℓ・車約130万台分に相当）をつくることだった。エタノールはコメを発酵させてつくるが、その発酵残渣は液体飼料として県内の養豚農家に供給された。燃料と飼料の供給という点においては、米国のトウモロコシと似ている。

## 6.12 国産エタノールの課題は低コストの実現

実証事業の結果はどうだったか。

グリーンガソリン（エタノール3%混合ガソリン）を給油した一般ユーザーからは、クレームもなく、品質的には全く問題はなかった。しかしながら、エタノール製造工場では故障があったり、コメの収量が平均して10a(アール)あたり約700kgと目標の800kgより少なく、バイオエタノールの年間目標量の1000kℓには届かず、約720kℓにとどまった。

一番の問題は、生産農家の手取り金額が補助金（10aあたり最大で8万円の交付金）を受け取っても、主食用のコメより低かったことだ。いくら環境保全のため、そして先祖代々の水田を守りたいとはいえ、収入が少なくては、コメを栽培する意欲は萎えてしまう。

バイオエタノールを安く供給するためにはコメの生産コスト（事業者から見れば、買入れ価格）を低くする必要があるが、それだと生産農家の手取り収入が少なくなる。このジレンマを打開できず、この試験は結局、成功しなかった。

同様の実証試験は北海道（2カ所）でも行われたが、いずれも見べき成果はなかった。2014年、農林水産省はバイオ燃料事業の打ち切りを発表した。2007年度から2014年度まで218億円の補助金が投入されたが、事業の採算性が実現しないことが失敗の主な要因だった。

水田を「油田」とみなし、いざとなれば、食料にもなるという夢多き事業だったが、高コストの壁を超えることはできなかったわけだ。

## 6.13 バイオマス活用計画は頓挫

このほかにも、環境省や経済産業省、農水省は2010年に「バイオマス活用推進基本計画」を決め、サトウキビやトウモロコシなどを原料とするバイオエタノールの生産と使用を進める実証試験を北海道や山形県、大阪府、岡山県、沖縄などでも行った。大阪では建築廃材からエタノールを製造し、沖縄ではサトウキビからエタノールをつくる実証試験に挑んだが、どの試験も大きな成果を得ることはなかった。その敗因は、やはりバイオエタノールを製造するコストが高いことだった。

2023年1月現在、市販されているガソリンの末端価格は1ℓあたり150円～160円前後だ。その中には揮発油税や消費税が含まれている。税抜きの価格を仮に100円とすると、ガソリンに負けないためには、1ℓあたり50円～70円程度のコストでエタノールを製造する必要がある。そのためには、コメを1kgあたり数十円（食用向けの10分の1程度のコスト）で作る必要があるが、いまの日本でその壁を乗り越えるのは相当に難しい。

今後、日本が国内でエタノールをつくらうとすれば、その原料としてはトウモロコシかコメが有望だろうが、米国のトウモロコシやブラジルのサトウキビには到底太刀打ちできない。もちろん、生ごみや建築廃材からもエタノールをつくることはできるが、発酵工程が複雑になり、コストはコメよりも高くなる。



#### 6.14 コメのエタノールを通じて水田の多機能性を発揮

ならば、もはや国産のエタノールは絶望的かと言えば、そうでもない。ブラジルのサトウキビに相当する日本の作物といえば、やはりコメしかない。新潟の実証事業で栽培された稲よりもさらに収量性の高い稲を栽培して、その稲からエタノールを製造すれば、活路があるかもしれない。

日本ではコメの消費量がずっと減り続け、水田の面積も減り続けてきた。1960年代には約340万haの水田があったが、2022年には約235万haに減った。50年間で100万haも消失したのだ。消費者のコメ離れによる減反に次ぐ減反が原因である。

しかし、減反をやめて、水田を復活させ、食用と燃料用にコメの生産を増やせば、エタノールを国内で製造する道はあるはずだ。そうなれば、低迷する食料自給率も上がる。衆議院議員の甘利氏が訴えたように、コメと地場産業とテクノロジーを結びつけるのだ。

コメの栽培の歴史は平安時代から数えても、1000年を優に超える。毎年作り続けても、連作障害がないのがコメの強みだ。

また、水田は環境保全面で多様な機能を発揮する。水をはった水田は洪水時には余分な水をためてくれる。つまり、ダム代わりになる。水田の地下にもぐった水は地下水の涵養にもなる。田んぼに溜まった水はいったん水田に滞るため、川の流量を安定化させる働きもある。水田に生きる生物を守ることもできるので生物の多様性確保にも貢献するだろう。

日本の伝統文化を支える行事の多くは「五穀豊穰」など稲の恵みに感謝するお祭りが多い。水田が絶えてしまえば、こうした伝統も失われるだろう。日本人が懐かしく思う故郷の原風景は水田の光景でもある。

こうした水田のもつ多面的な機能を考えると、やはり水田を「油田」にすることが最善の道だ。いざとなれば、食料にも変換できるため、食料安全保障にもなる。問題は多収性のコメをいかにうまく栽培するかであろう。

## 6.15 超多収性のゲノム編集イネで再チャレンジ

幸い、狙った遺伝子をうまく書き換えることができるゲノム編集技術によって、超多収性のコメ（写真8）が誕生している。



写真8-8 ゲノム編集で誕生した超多収稲（農研機構のHPから）

農研機構（国立研究開発法人の農業・食品産業技術総合研究機構）はゲノム編集技術を用いて、稲の粒が大きい超多収性のコメを開発している。コメの粒が大きく、籾の数も多い超多収米だ。その収量は10aあたり約1.2t（1haあたり12t）と高い。農水省によると、令和3年産の稲の平均収量は約0.53t（530kg）なので、このゲノム編集稲の収量は通常の2倍以上の収量を誇る。

ゲノム編集というと、消費者の中には抵抗感をもつ人もいるだろう。しかし、車の燃料向けなら、反対は少ないのではないか。いやむしろ、この機にゲノム編集技術に対する理解を深めるチャンスかもしれない。

ただそれにしても、バイオ燃料に関する新聞記事は最近になって少しずつ増えているものの、バイオエタノールに対するメディアの関心は低すぎる。

2023年1月12日付けの読売新聞（夕刊）は社会面のトップで「脱炭素へ全速前進 屋形船にバイオ燃料 EVタンカーも登場」の見出しで大きく報じた。しかし、藻類のミドリムシと廃食油を混ぜたバイオ燃料（製品名はサステオ）で走る屋形船と電気自動車100台分のバッテリーで動くタンカーの話題が出てくるだけだった。エタノールを混ぜたガソリンの話は1行も出てこなかった。これがエタノールをめぐる日本のメディアの悲しい現状である。

なぜ、エタノールは注目されないのか。それは、米国やブラジル、西欧を中心に植物由来のエタノールが車の燃料として広く普及している現状を日本のメディアがほとんど報じないからだ。

減反をやめて、コメをもっと増やせば、国産エタノールの供給は夢ではない。水田が油田

になっても、いざとなれば、食料にもなり、余れば輸出に回せばよい。水田とコメの確保は自国の食料安全保障の強化にもつながる。ブラジルが国策で成功したように、日本でも国産のバイオエタノールが商業ベースでコメからつくられる日を夢見たい。

#### 6.16 まとめ

中川物産株式会社（名古屋市）の先進的な取り組みが示すように、日本でも、いまずぐにでも「E7」の普及は可能なはずである。新たに多額のコストを要するインフラの整備が不要だからだ。すべては政治の決断にかかっている。

そして、将来的には、コメから国産エタノールをつくるべきだ。アメリカはトウモロコシ、ブラジルはサトウキビからエタノールをそれぞれつくり、自国の基幹産業を新たに発展させた。日本で自国産業の振興にふさわしい作物といえば、コメしかない。エタノール向けの水田の復活は多面的な環境保全、日本の伝統文化の維持、食料安全保障の強化という一石三鳥の役割を果たす。過去の実証実験の教訓を生かして、再度、コメを用いた国産エタノールの製造販売に挑む価値はあるだろう。

## 7.1 はじめに

米国産飼料穀物の中心であるトウモロコシがエタノール生産用原料として本格的に使用されてから久しい。今や米国産トウモロコシの国内需要はエタノール原料と飼料用が共に同じシェア 44%（合計 88%）で並ぶ時代となった。

米国農務省による 2023 年 3 月のトウモロコシの需給バランスでは、国内需要計が 119 億 6,500 万ブッシェルである<sup>1</sup>。そのうち、飼料用およびエタノール原料はいずれも 52 億 7,500 万ブッシェルで最大である。一方、日本向けも含めた総輸出は 18 億 5,000 万ブッシェル、米国内のエタノール需要は輸出需要の 2.8 倍であり、輸出はまさに余剰分でしかない<sup>2</sup>。まず、我々はこの事実をしっかりと認識しておく必要がある。

ところで、わが国では 2022 年 2 月のウクライナ危機を契機に食料安全保障の議論が急激に高まった。それ自体は良いが問題もある。食料安全保障とは本来、平時にこそしっかりと検討しておくべきものだ。また、一見突発的に見える動きも、よくよく見ればかなり長い潜伏期間があるのはどの分野も同じである。長期的な戦略を検討する場合には、この潜伏期間あるいは蓄積とも言える部分をいかに継続して実践するかが重要である。

エタノール原料としてのトウモロコシの活用において、米国が過去 20 年以上をかけて着実に実施してきたことは何か。一言で言えば、トウモロコシという国内のリソースを活用した「市場創造と新たな産業構築」という大事業である。ところが、どうもわが国ではバイオエタノールについては製品レベルでの理解しか浸透しなかったようだ。

ここはよく考える必要がある。米国の農家にとってトウモロコシ生産はあくまで生活の糧を得るビジネスである。さらに重要な点は、米国にとってトウモロコシを始めとする農産物は、国益に直結し、国のパワーを示す戦略商品であるということだ。

そう考えれば、生産における最大の優位性を保持しているうちに、トウモロコシを何らかの形で徹底的に使い、現代社会に不可欠な市場とそこに必要な製品を提供する産業を新たに構築して競争優位を持続させる、これこそが米国の考えであることがわかる。別におかしなことではない。自らが所有する最大のリソースをもとに、いかにして市場を創り出すかというビジネスの基本に忠実な行動だからである。

そこで本稿では、最初に世界の穀物需給とその中における米国の地位を概観し、米国の戦略的ポジションについてトウモロコシを中心に確認する。次に、世界と米国のバイオエタノールの生産状況を踏まえ、トウモロコシの需要の長期的変化を見る。

---

<sup>1</sup> ブッシェルは容積の単位である。トウモロコシの場合、1 ブッシェルは約 25.4kg となる。119 億 9,900 万ブッシェルは約 3 億トンに相当する。

<sup>2</sup> 2023 年 1 月および 2 月の発表では 19 億 2,500 万ブッシェルであったが、3 月の発表では 7,500 万ブッシェル（約 190 万トン）下方修正し、18 億 5,000 万ブッシェルとなっている。

最後に、新市場と新産業の構築における米国型パターンを簡単に述べ、現代版市場・産業創造の「ひな型」としてのエタノールの事例を元に、日本への“残された”適用可能性を検討する。これらを踏まえた上で、若干の私見を述べてみたい。

## 7.2 世界の穀物生産・貿易における米国産トウモロコシのポジション

世界の穀物生産は今後も一定レベルでは変化するだろうが、最低でも今後10年以上の期間、米国は農産物生産大国であり続けると考えて間違いないであろう。2023年3月時点の数字をもとに、主要穀物として、小麦・コメ・トウモロコシの生産数量、および米国の生産数量をまとめたものが、下記の表7-1である。

主要穀物3品目の合計は約25億トンであり、米国はその16.3%、約4億トンを占めている。全体として見た場合、小麦やコメの比率は低いが、トウモロコシの割合が極めて高いことがわかる。実際、米国のトウモロコシは、世界第1位の生産量（約3.5億トン、2位は中国の2.8億トン、3位はブラジルの1.3億トン）である。

表7-1 主要穀物の生産に占める米国のウエイト（単位：千トン、%）

	小麦	コメ	トウモロコシ	合計
世界	788.9	509.8	1,147.5	2,446.2
米国	44.9	5.1	348.8	398.8
米国の割合(%)	5.7%	1.0%	30.4%	16.3%

Source: USDA, “Grains: World Markets and Trade”, March 2023.

さて、生産量が多くても国内市場が十分に大きい場合、輸出余力は限られる。そこで世界のトウモロコシの主要輸出国を見ると、ブラジル（5,200万トン）、米国（4,900万トン）、そしてアルゼンチン（2,900万トン）が上位3か国となる。世界のトウモロコシ輸出数量1億7,979万トンに占める割合は、ブラジル（28.9%）、米国（27.2%）、アルゼンチン（16.1%）で、上位3か国が1億3,000万トン（72.3%）を占める実質的な寡占市場であることがわかる<sup>3</sup>。

一方、生産量第2位の中国は、EUの2,350万トンに次ぐ1,800万トンを入力している。中国は約2.8億トンのトウモロコシを生産しているにもかかわらず、国内需要が約3億トンに到達しているため、不足分を入力せざるを得ない。ここにトウモロコシの大生産国としての中国の需給バランス上の弱点、逆に米国の中国に対する優位性が存在する。

実際、トウモロコシの場合には、世界有数の生産量を誇りつつ、世界市場に一定の数量を供給できる国は、実質的には米国と南米2か国しかない。さらに、これら生産国から見

<sup>3</sup> 2023年1月時点のトウモロコシ輸出数量見通しは、米国（5,100万トン）、ブラジル（4,850万トン）であったが、2月時点で両国が5,100万トンで並び、3月時点でブラジルが米国を抜いて世界一となっている。ただし、本稿執筆時点ではまだこれが継続的な状況になるかどうかは不明である。

た場合、日本を含む東アジアは、中国 1,800 万トン、日本 1,500 万トン、韓国 1,100 万トン、台湾 430 万トンと、合計 5,000 万トン弱（東南アジアを含めると合計約 6,600 万トン）を輸入する最大顧客（地域）であることを押さえておく必要がある。

米国にとって競合する 2 か国が南半球にあることは、季節性の問題以上に需要地までの輸送上のメリットが大きい。また、既に厳密な品質管理と大量輸送システムを構築している点は、受入国の飼料工場の操業にとっても米国産トウモロコシを使用する上で、安定性や信頼という単なる価格以上の価値を提供している。これが現在の状況である。

次に、この競争優位が将来的にどうなるのかを検討してみたい。2023 年 2 月に公表された長期見通しによると、2032/33 年度のトウモロコシの輸出見通しは、米国 6,920 万トンに対し、ブラジルが 6,910 万トン、アルゼンチン 4,490 万トンとなっている。

10 年後でもブラジルの生産量は米国に追い付かず、トウモロコシは現在 30% の世界の輸出シェアを何とか維持できる見込みのようだ。長期見通しそのものが、前年秋のマクロ経済環境を前提としたものであれば、ほぼ当然の予想であろう。その上で、少し含意を詮索すれば、何としてもこの水準は確保したいという意志の表れと理解することもできる。

ところで、この長期見通しにおける今後 10 年間の輸出量の平均成長率を試算してみると、ブラジルの 103.9% に対し、米国は 102.4% となる。仮に輸出量に上限が無く、同じペースで輸出が継続した場合、試算上はほぼ 10 年後、両国のトウモロコシ輸出量が各々 7,000 万トンを超えた段階でブラジルのトウモロコシ輸出は米国を抜き、世界 1 位になる（図 1）。ちなみに、2022 年の平均単収は 173.3 ブッシェル/エーカーだが、長期見通し 2031/32 年度ではほぼ 200 ブッシェルが見込まれている。

この長期見通しでは作付面積はほぼ変わらないため、単収の向上による生産量の増加は、国内飼料用需要と輸出の増加により吸収され、政策的要素、即ち国家としての米国の意図が再生燃料基準（RFS : Renewable Fuels Standard）という形で直接反映されるエタノールは、現在のところ同水準の使用量（約 53 億ブッシェル）に留められている。この点は、あくまで今後の政治的戦略的判断という訳だ。

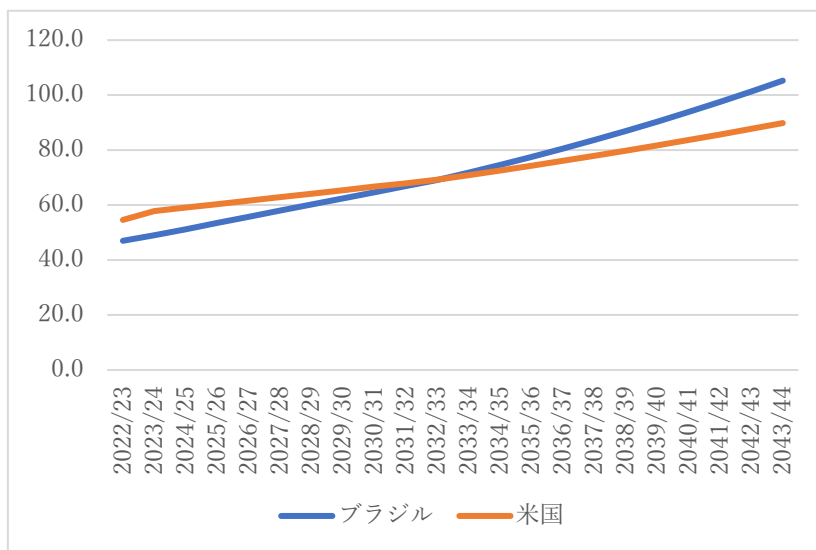


図 7-1 米国とブラジルのトウモロコシの輸出見通し (2022/23-2043/44、単位：百万トン)

Source : USDA, “Agricultural Projections to 2032”, February 2023.

注： 2033/34 年度以降は 2022/23－2032/33 年までの平均成長率で筆者が追加して延長。

つまり、農務省の長期見通しが間接的に示唆している点は、現在のペースが継続すれば恐らく 10 年後の米国は、トウモロコシでも世界の輸出市場においてブラジルに対する優位性を喪失する可能性が、少なくとも数量面では出てきたということである。

ところで、20 年前、米国はこの問題をどう認識していたのであろうか。思い起こせば、農務省の農業観測会議などでブラジル脅威論が出始めた頃である。だが、この当時、将来的な脅威としてのブラジルの問題はトウモロコシではなく急拡大していた大豆であった。

実際、20 年前、2003 年 1 月時点での 2002/03 年度のトウモロコシ輸出量は米国の 4,800 万トンに対し、アルゼンチン 900 万トン、ブラジル 180 万トン（前年度は 386 万トン）に過ぎない。

また、同年 2 月に公表された長期見通しでは 10 年後の 2012/13 年のブラジルのトウモロコシ輸出数量見通しはわずか 60 万トンである。要は、2003 年 2 月時点の世界のトウモロコシ貿易において、ブラジルは完全なマイナー・プレイヤーであった訳である。それがその後 20 年で競争国として着実に姿を現してきたということだ<sup>4</sup>。

以上が、トウモロコシをめぐる状況である。それでは次に、世界と米国のバイオエタノールの生産・消費動向を見てみよう。

<sup>4</sup> 参考までに、農務省が 10 年後の 2013 年 2 月に公表した 2022/23 年度の長期見通しでは 2022/23 年度のブラジルのトウモロコシ輸出数量は 1,860 万トンである。農務省の長期見通しは通常 10 年先までが公表されるが、当時、20 年先の潜在的脅威について、どの程度の現実的危機感を米国が持っていたかは不明である。筆者が参加した 2000 年当時の農業観測会議では、ブラジル大豆の脅威については数多くの議論があったが、トウモロコシは全く対象となっていなかったと記憶している。

### 7.3 世界のエタノールの生産・消費動向

米国エネルギー省 (U.S.DOE) が公表した資料によれば、世界のエタノール生産量は 2021 年時点で 272.7 億ガロン (約 1 億トン<sup>5</sup>) である。2007 年には 131.2 億ガロンであったことを考慮すれば、生産量は過去 14 年間で倍増している。この期間の年間平均成長率を計算すると 105.37% となり、エタノールは著しい成長を遂げていることがわかる。

エタノール生産を国別に見た場合、272.7 億ガロンのうち約 55%、150.2 億ガロンは米国が生産している。米国に次ぐ第 2 位はブラジルだが、その生産量は 74.3 億ガロンと米国の半分以下に過ぎない。ブラジルの後には、EU (13.5 億ガロン)、中国 (8.6 億ガロン) などが続いている。

一言で言えば、現在、世界のエタノールは米国が圧倒的な生産量とシェアを占めている。2007 年当時は米国とブラジルの生産量にそれほど差は無かったが、その後、米国の生産量は着実にブラジルを上回り、今日に至っている。表 7-2 は 2007 年以降の世界各国のエタノール生産量の推移、図 7-2 はそれをグラフ化したものである。

Country	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
米国	6,521	9,309	10,938	13,298	13,948	13,300	13,300	14,313	14,807	15,413	15,936	16,091	15,778	13,941	15,015
ブラジル	5,019	6,472	6,578	6,922	5,573	5,577	6,267	6,190	7,093	6,840	6,730	8,060	8,860	8,100	7,430
EU	570	734	1,040	1,209	1,168	1,179	1,371	1,445	1,387	1,190	1,250	1,300	1,350	1,280	1,350
中国	486	502	542	542	555	555	696	635	813	730	850	810	1,010	930	860
カナダ	211	238	291	357	462	449	523	510	436	460	460	460	497	429	434
その他	315	389	914	985	698	752	1,272	1,490	1,147	1,417	1,544	1,819	1,835	1,790	2,181
<b>世界</b>	<b>13,123</b>	<b>17,644</b>	<b>20,303</b>	<b>23,311</b>	<b>22,404</b>	<b>21,812</b>	<b>23,429</b>	<b>24,583</b>	<b>25,683</b>	<b>26,050</b>	<b>26,770</b>	<b>28,540</b>	<b>29,330</b>	<b>26,470</b>	<b>27,270</b>

Data

Source:

Renewable Fuels Association (RFA) (ethanolrfa.org/markets-and-statistics/annual-ethanol-production)

Notes:

Data from earlier years have been amended according to Ethanol Industry Outlook 2013. Some data previously reported at the country level were aggregated to the continent level. Some pre-2010 data are reported in the "Rest of World" category that should have been allocated to a specific continent.

初期のデータの一部は「Ethanol Industry Outlook 2013」に基づき修正している。また、国ごとに報告されている一部のデータは大陸レベルにまとめている。さらに2010年以前に報告されている一部のデータは、特定の大陸に割り当てられるべきものを「その他」に分類されている。

A more detailed breakdown of fuel ethanol production by country for 2000-2015 can be viewed at the U.S. Energy Information Administration (EIA) International Energy Statistics: Biofuels Production. (eia.gov/international/data/world)

<sup>5</sup> 1 ガロン=3.785 リットルで計算。272.7 億ガロン x 3.785=1,032.2 億リットル。エタノールは水より密度が少ない (例えば、薬用エタノールは 1ml=0.789 g) が、ここでは便宜的に水と同様に 1,000 リットル=1 トンとした。そうすると 1,032.2 億リットル=1 億トンとなる。



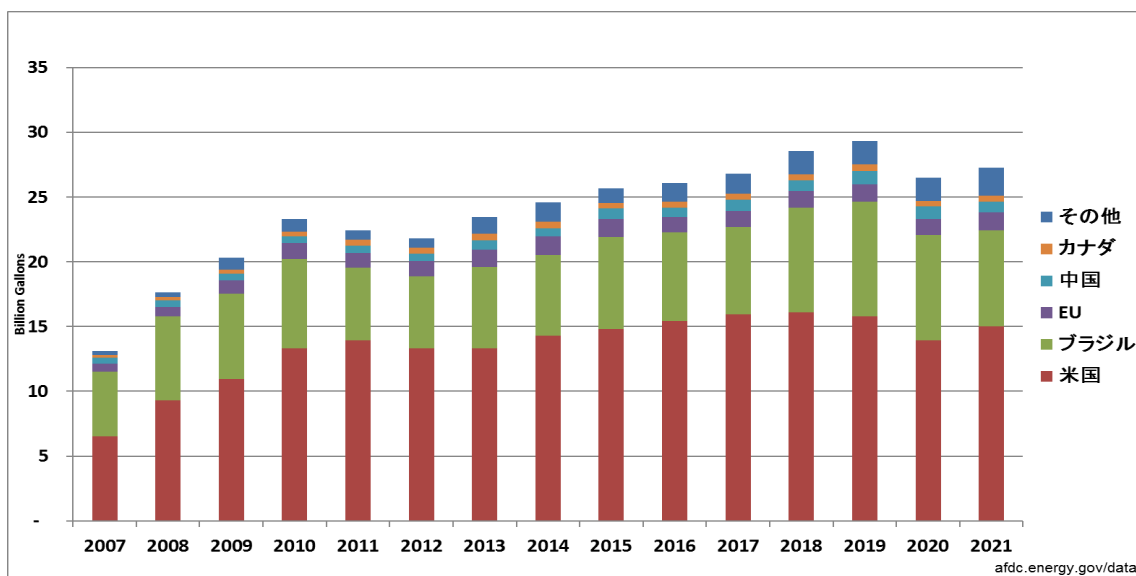


図 7-2 世界の国/地域別エタノールの生産量推移 (単位: 100 万ガロン)

Source: Renewable Fuels Association (RFA)

#### 7.4 米国におけるエタノールの生産と消費

エタノールを語る際、多くの論者はバイオ燃料の環境への優しさや、温暖化防止効果などを唱える。これは共時的観点、つまりある一時点を見るという観点からは間違いではないが、それだけでは米国の産業構築における戦略性の一面しかとらえていない。

実のところ米国は、かつていくつかの産業で世界をリードした時と同じパターンを繰り返している。19世紀には石油産業を、そして、20世紀初頭には自動車産業、そしてその後に化学繊維、近年ではコンピュータ関連産業、さらに生命科学の関連産業を構築したのと同様のパターンで、新たにエタノール産業を作りあげている。こうした通時的、つまり長期的観点から産業を見ないことにはエタノールの本質は見えてこない。

少し米国のエタノール生産量を振り返ってみよう。DOEの資料を確認すると、1981年時点では8,300万ガロンの生産と消費が記録されている。これは3.14億リットル、つまり約30万トンである。

エタノール生産を1つの産業として見た場合、年間30万トンで独立した産業として成立するか否かは別として、年間10億ガロン(約379万トン)を超えたのが1993年、15億ガロン(約568万トン)を超えたのは2000年という点は成長という観点からも興味深い。

これは、米国における本格的なエタノール産業が成長し始めたのは長く見ても30年、実質的には過去20年のことに過ぎないということを示している。

図7-3は、米国のトウモロコシの用途別割合推移を示している。食品・アルコール・工業用需要が2000年代に入り急増していること、そして、2010年以降は概ね安定しているこ

とがわかる<sup>6</sup>。

元々米国では 2005 年エネルギー政策法 (Energy Policy Act of 2005) により「再生可能燃料基準 (RFS : Renewable Fuels Standard)」が設けられた。その後、2007 年エネルギー自立・安全保障法 (Energy Independence and Security Act of 2007) に基づく新たな再生可能燃料基準 (RFS2) が公表 (2010 年 2 月) され、同年 7 月から適用されている。

再生可能燃料の区分けは大別すればトウモロコシベースと先端バイオ燃料の 2 つに分けられる。後者はさらにセルロース・ベースとバイオディーゼルに分類される。どこを原点とするかにより多少の違いはあるが、現行の RFS2 が施行された 2010 年当時の再生可能燃料の総量は 129.5 億ガロンであり、そのうち 120 億ガロン (93%) をトウモロコシベースが占めていた。

これを総量・各分野ともに引上げ、2022 年時点では総量 360 億ガロンとするのが 2007 年時点で定められた義務数量である。とくにトウモロコシについては 2015 年以降継続して 150 億ガロンの義務量が定められている。この結果、米国のトウモロコシ生産は、2000 年代以降、それまでとは全く異なる需要構造に直面することとなった。

先に述べたように、元々、米国のトウモロコシ需要の最大のものは国内飼料用需要であった。国内需要を満たした上で余剰が発生した場合に、輸出に向けられていたと理解した方が良い。国内需要の大半は飼料用需要だが、それ以外にも食品 (food)・種子 (seed)・工業用 (industrial use) などの需要がある。

この最後の項目はそれぞれの英語の頭文字を取り FSI と分類されている。1990 年代までの FSI がトウモロコシの全需要に占める割合は概ね 2 割強、2000 年時点でも 32%であった。ところが、FSI の中でも工業用需要 (実質は燃料用エタノールの原料) が急増し、2010 年以降は FSI の約 8 割がエタノール需要という形に変化した。図 7-4 は、1980 年以降の FSI の総量に占める燃料用エタノールの割合を示したものである。

その結果、過去 30 年の間に、米国のトウモロコシ生産の中に占める FSI、中でも I に相当するエタノール原料は、かつての飼料用需要に匹敵する分野にまで拡大したのである。

ところで、こうした変化を米国のトウモロコシ全体の中に落とし込んで見ると何が見えるか。それを可視化してみたい。

例えば、表 7-3 は米国のトウモロコシの 1975/76 年以降の全ての需給バランスである。これだけでも長期的な変化はわかるが、より理解を容易にするために表の要素について、総供給・総需要を分母とした割合を算出し、さらにそれをグラフ化したものが図 7-5 である。

結論は明らかだ。過去半世紀の間にトウモロコシの生産と需要は伸び、在庫と輸出は低下傾向にある。その中で特筆すべき変化は、全体に占める飼料用需要の低下と工業用需要の増加であり、その転換点は 2008/09 年である。

さて、2000 年代前半までの米国は、大まかに言えば、石油の半分、ガスの約 2 割を輸入

---

<sup>6</sup> エタノールに関するメディア報道もこの時期に急増し、瞬く間に減少している。詳細は本報告書の第 3 章参照。

に依存してきた。古くはイラン革命、その後も湾岸戦争やイラク戦争など、多大な困難を経ながらも中東の石油権益を確保し続けたのは国家として、安全保障上、石油が不可欠であったからに他ならない。

ところが1990年代以降は、化石燃料を大量に使い続けることに関し、環境面からの様々な懸念や関心が世界的に高まり、重要な課題となってきた。それだけでなく、米国内では老朽化したガソリンスタンドなどから漏洩したMTBE<sup>7</sup>による地下水汚染などが発生し、2005年には環境保護庁により、2014年以降ガソリンへの添加を禁止する決定がなされた。

また、技術の進歩により2006年以降はシェール層のオイルやガスの掘削が本格化したことも従来型のエネルギー・バランスを再考するきっかけとなった。

さらに、農業分野では、長年の品種改良の成果により向上したトウモロコシの単収は、数年に一度のかんばつによる減産を考慮しても、長い目で見れば1980年代以降、大量の余剰トウモロコシを生み出していた。価格は低迷し、農家経済だけでなく、農務省による農家支援のための財政支出も困難な状況に直面したのである。

再生可能燃料の1つとしてのバイオ燃料、とくにトウモロコシの活用は、こうした背景の中で考えられてきたことを理解しておく必要がある。

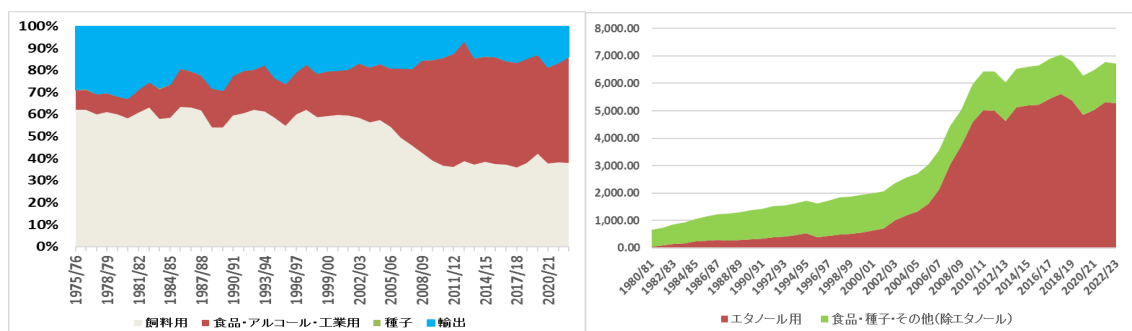


図 7-3 (左) 米国のトウモロコシの用途別割合推移 (1975/76-2022/23)

図 7-4 米国のエタノール用トウモロコシの使用量推移 (単位: 100万ブッシェル)

Source: USDA, "Feed Grains Yearbook" のデータを元に図 7-3・4 ともに筆者作成。

<sup>7</sup> MTBE とはメチル・ターシャル・ブチル・エーテル (methyl tertiary-butyl ether) のことである。自動車用ガソリンのオクタン価を上げ、ノッキングを起りにくくするために一時期、積極的に用いられた。しかし、後に大気や水質汚染の原因となり使用が禁止され、エタノールを含む再生可能燃料の本格的な使用へのきっかけの1つとなった。日本でも2006年にはMTBEのガソリンへの添加は中止となっている。

表 7-3 米国のトウモロコシのバランス、単位：百万ブッシェル

マーケティング 年度 1/	供給				消費						期末在庫
	期首在庫	生産量	輸入	供給計 2/	国内需要				輸出	需要計 2/	
					食品、 アルコール、 工業用	種子用	飼料用他	国内需要計 2/			
1975/76	558	5,841	1.50	6,400	501	20.10	3,582	4,103	1,664	5,767	633
1976/77	633	6,289	2.43	6,925	522	20.10	3,602	4,144	1,645	5,789	1,136
1977/78	1,136	6,505	2.40	7,643	562	19.50	3,730	4,311	1,896	6,207	1,436
1978/79	1,436	7,268	1.15	8,705	589	19.50	4,274	4,882	2,113	6,995	1,710
1979/80	1,710	7,928	0.72	9,638	620	20.00	4,563	5,203	2,402	7,604	2,034
1980/81	2,034	6,639	0.85	8,675	639	20.20	4,232	4,891	2,391	7,282	1,392
1981/82	1,392	8,119	0.56	9,511	714	19.40	4,245	4,978	1,997	6,975	2,537
1982/83	2,537	8,235	0.49	10,772	840	14.50	4,573	5,428	1,821	7,249	3,523
1983/84	3,523	4,174	1.71	7,699	911	19.10	3,876	4,806	1,886	6,693	1,006
1984/85	1,006	7,672	1.73	8,680	1,046	21.20	4,115	5,182	1,850	7,032	1,648
1985/86	1,648	8,875	9.90	10,534	1,133	19.50	4,114	5,267	1,227	6,494	4,040
1986/87	4,040	8,226	1.76	12,267	1,217	16.70	4,659	5,893	1,492	7,385	4,882
1987/88	4,882	7,131	3.41	12,016	1,234	17.20	4,789	6,041	1,716	7,757	4,259
1988/89	4,259	4,929	2.78	9,191	1,279	18.40	3,934	5,232	2,028	7,260	1,930
1989/90	1,930	7,532	1.90	9,464	1,351	18.90	4,382	5,753	2,367	8,120	1,344
1990/91	1,344	7,934	3.42	9,282	1,406	19.30	4,609	6,034	1,727	7,761	1,521
1991/92	1,521	7,475	19.64	9,016	1,513	20.20	4,798	6,331	1,584	7,915	1,100
1992/93	1,100	9,477	7.09	10,584	1,537	18.70	5,252	6,808	1,663	8,471	2,113
1993/94	2,113	6,338	20.82	8,472	1,593	20.10	4,680	6,293	1,328	7,621	850
1994/95	850	10,051	9.56	10,910	1,697	18.30	5,460	7,175	2,177	9,352	1,558
1995/96	1,558	7,400	16.49	8,974	1,608	21.90	4,691	6,321	2,228	8,548	426
1996/97	426	9,233	13.26	9,672	1,694	22.28	5,275	6,991	1,797	8,789	883
1997/98	883	9,207	8.81	10,099	1,816	23.05	5,448	7,287	1,504	8,791	1,308
1998/99	1,308	9,759	18.81	11,085	1,842	22.32	5,450	7,314	1,984	9,298	1,787
1999/00	1,787	9,431	14.74	11,232	1,915	23.14	5,640	7,578	1,937	9,515	1,718
2000/01	1,718	9,915	6.82	11,639	1,958	22.45	5,819	7,799	1,941	9,740	1,899
2001/02	1,899	9,503	10.14	11,412	2,042	23.61	5,845	7,911	1,905	9,815	1,596
2002/03	1,596	8,967	14.45	10,578	2,335	23.75	5,545	7,903	1,588	9,491	1,087
2003/04	1,087	10,087	14.08	11,188	2,528	24.16	5,778	8,330	1,900	10,230	958
2004/05	958	11,806	10.83	12,775	2,687	24.22	6,132	8,842	1,818	10,661	2,114
2005/06	2,114	11,112	8.81	13,235	2,999	23.65	6,111	9,134	2,134	11,268	1,967
2006/07	1,967	10,531	11.98	12,510	3,517	28.55	5,535	9,081	2,125	11,207	1,304
2007/08	1,304	13,038	20.02	14,362	4,420	26.55	5,853	10,300	2,437	12,737	1,624
2008/09	1,624	12,043	13.53	13,681	5,003	27.23	5,128	10,159	1,849	12,008	1,673
2009/10	1,673	13,067	8.34	14,749	5,939	27.76	5,096	11,062	1,979	13,041	1,708
2010/11	1,708	12,425	27.67	14,161	6,403	29.58	4,770	11,202	1,831	13,033	1,128
2011/12	1,128	12,314	29.37	13,471	6,400	30.99	4,512	10,943	1,539	12,482	989
2012/13	989	10,755	159.95	11,904	6,013	30.96	4,309	10,353	730	11,083	821
2013/14	821	13,831	35.79	14,688	6,501	29.72	5,004	11,535	1,921	13,456	1,232
2014/15	1,232	14,217	31.65	15,481	6,566	29.26	5,287	11,883	1,867	13,750	1,731
2015/16	1,731	13,602	67.57	15,401	6,617	30.56	5,118	11,765	1,899	13,664	1,737
2016/17	1,737	15,148	57.07	16,942	6,856	29.30	5,468	12,353	2,296	14,649	2,293
2017/18	2,293	14,609	36.01	16,939	7,027	29.64	5,304	12,361	2,437	14,798	2,140
2018/19	2,140	14,340	27.96	16,509	6,764	29.06	5,427	12,220	2,068	14,288	2,221
2019/20	2,221	13,620	41.89	15,883	6,256	29.85	5,899	12,185	1,778	13,963	1,919
2020/21	1,919	14,111	24.23	16,055	6,436	30.70	5,607	12,074	2,747	14,821	1,235
2021/22	1,235	15,074	24.23	16,333	6,737	29.26	5,718	12,484	2,471	14,956	1,377
2022/23	1,377	13,730	50.00	15,157	6,684	31.00	5,275	11,990	1,925	13,915	1,242

1/ September–August. Latest data may be preliminary or projected.

2/ Total may not add due to rounding.

Source: USDA, World Agricultural Outlook Board, World Agricultural Supply and Demand Estimates and supporting materials.

Date run: 1/12/2023 6:08:45 PM

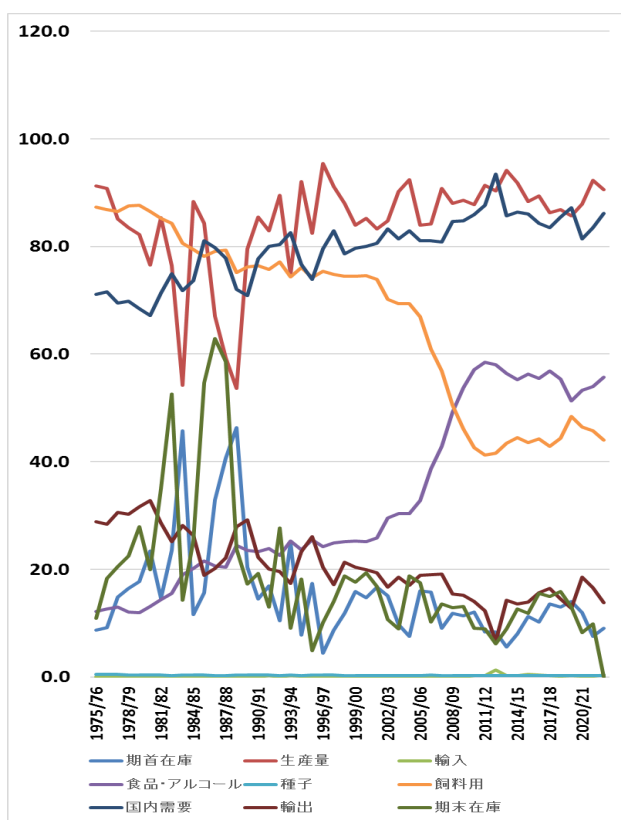


図 7-5 米国産トウモロコシの需要構造の長期変化－1975/76-2021/22－（単位：％）  
 Source：USDA, “Feed Grains Yearbook” のデータを元に筆者作成。

### 7.5 食料安全保障とバイオ燃料：わが国の可能性

以上、世界の穀物需給と米国のポジション、および世界と米国のバイオエタノールの生産・消費状況を簡単に述べてきた。本節では、やや視点を変え、最初にこれまでの検討から得られるいくつかの教訓を示す。それは、米国が中長期的に直面した課題、それを克服するためにいかなる対応を実践したかということでもある。

次に、その教訓を日本に活用するとした場合、現在ではどのような形での活かし方が可能であるかを検討してみたい。

#### 1) 米国のトウモロコシが直面した中長期的課題、そして克服方法はいかなるものか

一言で言えば、複数の競争相手の出現により自国の優位性が中長期的に低下することを想定した現実的対応である。単純な「恐れ」ではなく、いかにして既存の優位性を伸ばすか、そして新たに構築するか、と考えた方が良い。この最後の姿勢は非常に重要である。

ビジネスの世界には「米国式生産方式」というものがある。ポイントは、互換性原理 (compatibility) と量産方式 (mass production) のセットである。19 世紀以降、不断の努力を続けた結果、20 世紀の米国はこの 2 つの原理を核とした形で銃器・自動車・石油精製や化学繊維など数多くの分野で世界をリードしてきた。この勝ちパターンは農業分野にも

応用されている。商業用種子の導入や、ハイブリッド種子の開発と普及、そして近年では遺伝子組換え種子などがそうである。根底に流れる考え方や手法は皆、共通している。

米国がトウモロコシ生産において世界1位となった背景には、広大な土地というリソースを前提とし、先の2つを徹底的に活用して最高の生産性を上げ続けたこと、そして大量の生産を吸収するだけの市場を常に作りあげてきたことが大きい。その結果として、規模の経済を十分に享受したのである。

しかしながら、このパターンにはいくつかの制約がある。第1に、成長を継続するため、言い換えれば当該市場における競争優位を保持し続けるためには、生産性向上だけでは不十分なことだ。どこかの段階で必ず新市場あるいは新需要を創造することが求められる。それは国内でも海外でも、あるいは全く異業種でも構わない。

第2に、仮に第1が達成されたとしても、国家戦略上で最重要な点は、当該商品の根源を自ら押さえておくことである。そうでなければ、単なる巨大な取引・売買業者になる。いくら規模が大きくても扱うモノが無ければ取引が出来ない。戦略商品はどのような形であれ、生産の大元を確保してこそ、時間や環境の変化を踏まえた技術開発を含めていかようにでも展開可能という選択肢を持つことになる。穀物メジャーは農地を所有していないが、メジャーの流通網が無ければ農家は市場へアクセスができない。石油は地下に所有していても精製施設が無ければ利益を生む石油製品は作り出せないのと同じである。

この観点から日本を見ると、高度成長期から1980年代までの日本は、第1の点については自動車や家電製品などを中心に見事に実施したが、第2の点が追い付かなかったから失速したという見方ができる。この2つこそが、最重要な教訓である。

さて、1980～90年代以降の米国のトウモロコシ生産は、品種改良により生産量が著しく増加し、価格低迷に苦しんでいたことは先に述べた。これを解決する基本的な方法は、生産を抑制するか、需要を創造するかである。長年にわたり異業種での市場あるいは需要創造の経験がある米国のアプローチは当然後者であり、トウモロコシも例外ではない。

## 2) 日本のコメ政策をどう見るか

それでは、日本のコメはどうであろうか。戦後の食料難時代を経て1960年代前半まではコメの増産こそが国是であった。その後は生産性向上と国内需要減少の影響で1971年以降は生産調整という名の減反政策が開始された。この政策は2018年に終了したが、半世紀の間に日本人の食生活が大きく変化してきたことは周知のとおりである。

ここで、長年コメ政策に関係した多くの人々の思いや、実際の農家の気持ちを述べることは筆者には荷が重い。後出しジャンケンのような形になるが、歴史を振り返り、唯一言えることは、課題に直面した際に採用した方針（戦略）が日米では真逆であったことである。市場や需要の創造ではなく、生産の抑制であったということだ。

この選択はもしかすると両国の歴史的経験の違いによるものかもしれない。大化の改新(645)以降、班田収授法(646)、三世一身の法(723)、墾田永年私財法(743)などを

出すまでもなく、日本農業の根本は食料（あるいは当時は通貨）としてのコメをいかに確保するかであった。現在でも地域によっては「〇〇新田」という名称が数多く残るのは、現代に至るまでいかにコメの確保が経済に直結していたかを示している。

一言で言えば、約 1,300 年にわたり日本国民の心の底に染み込んだ国家最大のリソースであるコメは、依然「食料のみ」として扱われているということだ。この点も、トウモロコシを戦略商品かつ産業用原材料として位置付けている米国との根本的な違いである。

その結果、約半世紀の間、日本は国家最大のリソースであり戦略商品でもあるコメについて、食料としての活用については徹底的に考えたかもしれないが、その他の用途については「新たな市場」も「新たな需要」も十分に創造できなかったということになる。

コメやコメを生産する国土、自然を敬う気持ちは良い。地域の主要作物については世界中の多くの国で同様なことが行われている。問題は、「新たな市場」や「新たな使い方」を開発するのに大きく出遅れていることであろう。より具体的に言えば、前者は西アフリカや中東におけるコメ需要増加への対応、後者は本稿で対象としているバイオ燃料も含めたコメの産業用途の開発などが一例である。

さらに言えば、高度成長期日本で活用された加工貿易モデルが成功パターンとして余りにも上手く機能したことも大きい。この成功が、本来なら日本が大量に所有しているリソースを用いて、いかに新たな競争優位を確立するかというビジネスにおける基本的な戦略的視点の欠如に繋がっているのかもしれない。

他のリソースとの比較で言えば、日本は、現代産業の根幹をなす原油について、そのほぼ全てを輸入に依存しているのに対し、最大のリソースであるコメは 1,300 年間、あくまでも食用としてしか位置付けてきていない。近年では飼料用米なども出てきたが、用途的に見ればあくまで食用の垂流のようなものだ。

言うまでもなく、日本の国土はコメの生産には最適である。現在でも年間 750 万トン程度のコメは生産可能であり、その気になればさらに増産可能であろう。そうであれば、コメの技術開発は、従来型の生産性向上と同時に産業用途こそ徹底的に考える必要がある。より具体的には、高齢化と消費の減退に伴い増加している荒廃農地の活用方法としての検討も長期的かつ多面的な観点から再考すべきである。

もちろん、収益性をいかに確保するかは大きな問題である。だが、米国ですら 1 つの新しい産業の構築には 20 年近くの時間と持続的な政策的意志、そして費用と労力を費やしてきたことを十分に理解しておく必要がある。本来、長期的な戦略、そして研究開発はこうした点を踏まえて行うものだ。

なお、日本農業最大の粗生産額を誇る畜産は、実は膨大な輸送費用をかけて海外から穀物を輸入した上に成立していることを念頭に置いておくべきなのは言うまでもない。

筆者は長年、安価な飼料穀物の海外からの調達に従事してきたし、その仕事に誇りを持ってきた。だが、これを未来永劫持続可能なビジネスモデルとして良いかどうかは、常に心の隅で自問自答していたつもりである。

## 7.6 おわりに

わが国では「戦略」と「戦術」という用語がよく用いられる。本稿での説明は省略するが、実は個別産業をどうするかという次元の上には、現在から将来に向けて一国が抱える複数の産業をどう組み合わせていくかという、いわば産業ポートフォリオのような考え方が求められる。これは政治学や戦略論の用語で言えば、「大戦略（グランド・ストラテジー）」に相当する。

米国という国家の大戦略の中ではエネルギーや農業はあくまで個別産業であり、これらをどう組み合わせ、将来に向けて競争優位を構築するかが常に考えられている。これはどの国も同様である。

その下の次元では文字通り、個別産業の生き残り、優位性を獲得するための競争が行われる。これも単次元ではなく、産業の分野ごとにいわばオペレーションとして最適化が追求される。垂直統合や合併・買収などはわかりやすい例だ。さらに下の段階では、いわば目の前の課題の即時対応が求められる。

以上を簡単にいえば、畑に何を蒔こうか、どの作物の組み合わせが良いかと考える次元、蒔いた種を育てて収穫・輸送する次元、そしてキッチンにある農作物をどう調理するか、の次元と考えてみたら良い。

残念ながら、現在の日本におけるエタノールの状況は、種も耕作地もあるのに種まきはおろか育成も収穫も無く、とりあえず近くのスーパーから購入してきた輸入野菜が目の前にあるだけという状況のようだ。店舗に物が届かなくなれば即座に困るのに、そのような事態に備えて準備もしていないと言うのは言い過ぎであろうか。

食料に限らず安全保障を真剣に考えるのであれば、少なくとも自国内にある生産可能な農地には何かを植え、それを活かす途を各レベルで徹底的に考える必要がある。子実トウモロコシの作付けは悪くはない。だが、日本中の水田をトウモロコシ畑に変えても米国には到底追いつかないし、そのようなことは国民の多くが望まないであろう。本丸はやはり日本最大のリソースであるコメの活用である。

かつて餅は日本の各所で神仏に捧げられた。筆者のいる東北はコメの産地だが、地域レベルでの行事が多く、お祝いや祈願のたびに餅が使われていたという。これを伝統・文化・習慣として理解するのは重要かつ簡単だが、それが行き過ぎると神聖なコメには何も手が付けられなくなる。これは主客逆転のようなものだ。

お供物としての餅の本質は実は庶民の生きる知恵である。年貢米は納めなければならないが、神仏へのお供えは別枠だ。一旦供えた後は無駄にせず地域の皆で分け合う。こうした逞しさを現代のコメや農地に応用することこそが、各々の地域、そしてその集合体としての国家が生き残ることであり、それが最終的には神仏を敬うことにも繋がるのではないかと考えている。



【参考文献】

Renewable Fuels Associations, “Annual U.S. Fuel Ethanol Production”, Markets & Statistics.

<https://ethanolrfa.org/markets-and-statistics/annual-ethanol-production>

(accessed January 28, 2023.)

USDA, “Agricultural Baseline Projections to 2012”, February 2003.

USDA, “Agricultural Projections to 2022”, February 2013.

USDA, “Agricultural Projections to 2031”, February 2022.

USDA, “Feed Grains: Yearbook Tables – All years”, January 18, 2023.

USDA, “Grains: World Markets and Trade”, March 2023.

USDA, “Livestock and Poultry: World Markets and Trade”, January 2023.

USDA, “Oilseeds: World Markets and Trade”, March 2023.

USDA, “World Agricultural Supply and Demand Estimate”, March 2023.

USDOE, “Quantity of Ethanol produced by country/region from 2007 to 2021”, December 2022. <https://afdc.energy.gov/data/categories/biofuels-production> (accessed January 28, 2028)

USEPA, “EPA Takes Next Steps in Renewable Fuel Standard Program for 2023-25”, News Releases, December 1, 2022. <https://www.epa.gov/newsreleases/epa-takes-next-steps-renewable-fuel-standard-program-2023-25> (accessed January 28, 2028)

三石誠司「産業としての米国産エタノール」「コラム：グローバルとローカル：世界は今 (246)」、農業協同組合新聞（電子版）、2021年8月27日。アドレスは、  
<https://www.jacom.or.jp/column/2021/08/210827-53531.php> (2023年1月28日確認)

三石誠司「米国のエタノール産業」「コラム：グローバルとローカル：世界は今 (023)」、農業協同組合新聞（電子版）、2017年3月17日。アドレスは、  
<https://www.jacom.or.jp/column/2017/03/170317-32277.php> (2023年1月28日確認)

三石誠司「バイオマスは大学生になれたか」、「Agrio」、0330号、2020年11月25日、pp. 11-12.

三石誠司「今年の米国産トウモロコシを振り返る」「コラム：グローバルとローカル：世界は今 (156)」、農業協同組合新聞（電子版）、2019年11月15日。アドレスは、  
<https://www.jacom.or.jp/column/2019/11/191115-39655.php> (2023年1月28日確認)

三石誠司「バイオ燃料の光と影（上）－エタノールが変えるアメリカのトウモロコシ産業」  
「農林経済」、9817号、2006年、10月19日、pp.8-11.

三石誠司「バイオ燃料の光と影（下）－生物多様性や土壌および水資源への深刻な影響も」、  
「農林経済」、9820号、2006年11月6日、pp.10-14.

## 第8章 日本のエネルギー政策とこれからの方向

アジア成長研究所特別教授・東京大学名誉教授 本間 正義

### 8.1 はじめに

日本の経済はエネルギーに支えられ発展してきた。最も古くから使われてきたエネルギー源は石炭であるが、第二次世界大戦後、エネルギーの主役は石炭から石油に変わる。しかし、二度にわたる石油危機は脱化石燃料のエネルギー開発にシフトし、原子力の利用が推進された。だが、2011年に発生した東日本大震災による福島第一原子力発電所の事故により、その方向は変更を余儀なくされる。さらに、世界的な地球温暖化対策として、脱炭素化社会の実現が求められ、これらに対応するエネルギーミックスの時代となっている。

本章では、こうしたエネルギーの主体とエネルギー政策の変遷を概観し、今日の政策の位置づけとその背景をさぐる。その上で、バイオ燃料の役割を検討し、今日バイオ燃料を推進することに日本のエネルギー政策にとってどのような意義があるのか、また、バイオ燃料を推進するためにどのような政策が必要なのかを検討する。

### 8.2 日本のエネルギー政策の変遷

日本での石炭の存在は室町時代から記録されているが、長い間薪の代用品としてとどまっていた。石炭が本格的に需要されるのは幕末の外国の蒸気船の登場による。石炭需要の拡大で、北海道や九州の炭鉱が急速に開発されていった。明治7年(1874年)に21万トンだった石炭産出量は、明治36年(1903年)には1000万トンを超えた<sup>8</sup>。

また、ガス灯に始まる街灯は電氣化され、発展する工業部門は電力需要をさらに増加させ、石炭需要は益々拡大し、価格も上昇した。しかし、石炭による火力発電所は、当時の技術では小規模にとどまり、電力の供給も限られた。そこで登場したのが大規模水力発電である。水力発電は全国で採用され、1910年代には火力と水力の出力比率が逆転する。自由競争により、電力価格は低下したが、事業者の収益は悪化し、政府が收拾に乗り出し、電力産業に地域独占を認め、つい最近までこの地域独占体制が続くことになる。

第二次世界大戦が近づくと電力産業への統制が強まり、電力産業を国家の管理下に置く「電力国家管理法」が昭和13年(1938年)に成立し、既存企業から強制的に設備出資させた国策企業「日本発送電株式会社」が設立され、電力国家管理が実行に移された。

一方、石油は、漁船、自動車、軍艦等を動かす「動力エネルギー」として需要を拡大するが、国内油田は秋田での開発など行われたものの、需要拡大に追いつかず、太平洋戦争直前には9割を輸入に頼るようになる。そんな中、昭和16年(1941年)米・英・オランダは対日石油輸出を全面禁止にし、日本はこれを契機に同年12月、太平洋戦争に突入す

---

<sup>8</sup> 日本のエネルギーの歴史については、経済産業省(2018)を参照。また、世界のエネルギーの変遷については、リチャード・ローズ(2019)やバーツラフ・シュミル(2019)に詳しい。

る。

戦争遂行のため、石炭は国家統制の下で増産されるが、過度な採掘による炭鉱の荒廃や空襲によって、生産能力は戦争末期には半減する。戦後石炭は経済の復興を牽引し、急速に増産され、戦時期から続いた国の完全統制は終了し、石炭産業は昭和 25 年（1950 年）に自由競争市場に戻る。しかし、採掘費用の高騰や代替する石油価格の低下などで、石炭産業は衰退し、エネルギーの主役は石油に変わっていく。

重化学工業を基礎とした高度経済成長を経て、石油は昭和 48 年（1973 年）には一次エネルギー（自然から採取されたままの物質を源としたエネルギー）の 8 割近くを占めるに至った。しかし、2 度にわたるオイルショックが日本経済を襲う。

第 1 次オイルショックは、1973 年 10 月に勃発した第 4 次中東戦争で、アラブ側の石油輸出国がイスラエル支持国への輸出禁止を決定し、国際原油価格は 3 カ月で約 4 倍に跳ね上がった。第 2 次オイルショックは、1979 年にイラン革命によって崩壊したパフラヴィー朝に代わり成立したイラン・イスラム共和国が、資源保護を目的に原油生産を大幅に減らしたことが契機となり生じた。その後のイラン・イラク戦争の影響も重なり、輸入原油価格は 1977 年から 1982 年までに 2.8 倍に高騰した。

これらのオイルショックを受けて、政府は 1980 年に「石油代替エネルギーの開発及び導入の促進に関する法律（代エネ法）」を制定し、石油に代わるエネルギーの開発・導入を打ち出した。石油以外のエネルギーへの技術研究開発は、1973 年発足の「サンシャイン計画」などで、太陽、地熱、石炭、水素エネルギーにスポットを当てて進められてきたが、中でも注目されたのが原子力発電である<sup>9</sup>。

日本で初めての商業用原子力発電所は 1966 年茨城県に建設された東海発電所であるが、2 度のオイルショックを経て、原子力発電が推進され、2004 年には 53 基の原子力発電所で総発電量の 30%を担うに至った。一方で、原子力発電は事故やトラブルを引き起こし、世界では 1979 年に米国のスリーマイル島で、1986 年にはソビエト連邦（現・ウクライナ）のチェルノブイリで原発事故が発生した。

日本では 2011 年の東日本大震災で福島第一原子力発電所の事故が起きた。日本の原発の「安全神話」が崩れ、原子力政策の見直しを迫られることになる。2014 年に発表された「第 4 次エネルギー基本計画」では、原発は「省エネルギー・再生可能エネルギーの導入や火力発電の効率化などにより、可能な限り低減させる」と明記された<sup>10</sup>。

---

<sup>9</sup> 「サンシャイン計画」とは、通商産業省（当時）が 1973 年の第 1 次石油危機後に進めていた新エネルギー技術研究開発であり、太陽エネルギーの利用技術開発、地熱エネルギーの利用、石炭ガス化・液化技術、水素の製造から利用までの技術、風力や海洋エネルギー、オイルシェールなどの技術の開発を行ない、実用化をはかった。1993 年度からは「ニューサンシャイン計画」に統合された。

<sup>10</sup> オイルショックから東日本大震災までの日本のエネルギー政策については、泉谷清高

それまで脱石油の旗頭としての役割を担ってきた原子力発電政策は大きく後退し、他のエネルギー源にシフトせざるを得なくなった。石油代替エネルギーへのシフトは、オイルショック以後着実に進められてきた。しかし、単なる石油の代替品というだけでなく、今日さらに求められているのは「非化石」エネルギーへのシフトである。地球温暖化・気候変動問題が顕在化して以来、二酸化炭素排出の原因となる化石燃料全般の利用削減が国際的目標となったからである。

### 8.3 気候変動と再生可能エネルギー

地球の気候変動については古くから学者による研究が進められてきたが、世間の耳目を集め始めたのは、昭和 60 年（1985 年）に国連環境計画（United Nations Environment Programme: UNEP）が「対策を開始すべき」と警鐘を鳴らしたからである。特に、国連環境計画（UNEP）と世界気象機関（World Meteorological Organization: WMO）が、1988 年に「気候変動に関する政府間パネル（Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC）<sup>11</sup>」を設立し、膨大な数の学術的報告を集約して評価を行い、1990 年に第 1 次評価報告書（FAR）にて、21 世紀末までに地球の平均気温が約 3℃、海面が約 65 cm 上昇するとの具体的予測を発表すると、大きな反響を呼んだ。

また、1992 年 6 月にリオデジャネイロで開かれた環境と開発に関する国際連合会議（地球サミット）では、気候変動枠組条約（UNFCCC）が採択され、国際政治では全世界規模での地球温暖化対策が議題に上り始めた。同時に、この会議で環境と開発に関わる中心的理念とされたのが、「将来の世代のニーズを満たす能力を損なうことなく、今日の世代のニーズを満たすような開発」すなわち「持続可能な開発」である<sup>12</sup>。つまり、地球環境を将来世代が利用可能な形で残すことが共通認識とされ、そこには温暖化の阻止も含まれる。この概念は今日の SDGs（持続可能な開発目標）につながっている。

UNFCCC では定期的な会合（気候変動枠組条約締約国会議、Conference of the Parties: COP）の開催を規定するなどして、気候変動に関する議論を進めた。1997 年の COP3 で

---

（2021）に詳しい。また、東日本大震災以後のエネルギー政策については、井塚雅浩（2019）を参照。

<sup>11</sup> IPCC は、1988 年に世界気象機関（WMO）と国連環境計画（UNEP）により設立された政府間組織で、2022 年で参加しているのは 195 の国と地域である。IPCC は気候変動に関する専門的なデータや予測を「報告書」などで提供しており、最新の「第 6 次報告書」は 2022 年に公表された。

<sup>12</sup> 「持続可能な開発」は、「環境と開発に関する世界委員会」（委員長：ブルントラント・ノルウェー首相（当時））が 1987 年に公表した報告書「Our Common Future」で取り上げた概念で、「将来の世代の欲求を満たしつつ、現在の世代の欲求も満足させるような開発」とされる。

は、初めて具体的に排出量の削減を義務づける内容を盛り込んだ京都議定書が採択された。これは世界的に様々な温暖化の緩和策の進展を促すこととなったが、主要な排出国である中国に削減義務が無く、また国によって義務の厳しさが異なるなどの問題を残した。

その後、2015年12月開催のCOP21では、京都議定書の後継となるパリ協定を採択した。パリ協定では、産業革命前からの世界の平均気温上昇を「2°C未満」に抑え、加えて平均気温上昇「1.5°C未満」を目指す（第2条1項）こととした。日本はパリ協定に基づき、2030年度の温室効果ガスの排出を2013年度の水準から26%削減することを目標とした。しかし、その後、パリ協定のもとでの温室効果ガス削減目標が世界の気温の上昇を抑える上で不十分であることが認識され、国際的にも目標の強化が叫ばれた。日本はこうした動きに対応し、2021年の米国主催気候サミットにおいて、削減目標を46%にすると表明した。

日本で気候変動対策として注目されたのは、石油代替エネルギーとして研究開発と導入が進められてきた「新エネルギー」と呼ばれる、太陽光、地熱、中小水力、石炭（石炭液化技術）、水素エネルギーであった。これに風力、バイオ、海洋が加わる。その後、「新エネルギー」の定義は何度か変更と見直しが行われたが、重要性を増していったのが「再生可能エネルギー」、すなわち、太陽光、風力その他非化石エネルギー源のうち、エネルギー源として永続的に利用できるものから得られるエネルギーである<sup>13</sup>。

このうち、最も導入が進んでいる再生可能エネルギーは、小規模から設置できて初期投資も小さくて済む太陽光発電である。2012年創設で電力会社に再エネ由来の電気を固定価格で買い取るよう義務づけた固定価格買取制度（Feed-in Tariff: FIT）もあり、太陽光発電は急速に拡大してきたが、寿命を終えた太陽光パネルが含む有害物質の処理や、パネル自体をいかに処分するかといった問題をかかえる。

太陽光や風力はそもそも二酸化炭素等の温暖化ガスを排出することはないが、再生可能エネルギーの中で木材など植物由来のバイオマスエネルギーは、燃焼させる際には二酸化炭素が発生するが、原料となる植物は生長する際に二酸化炭素を吸収しており、全体として二酸化炭素の量は増加しない。この特性を「カーボンニュートラル」と呼び、地球温暖化対策として注目される。日本は2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、この「カーボンニュートラル」を目指すことを宣言している。

再生可能エネルギーのうち、木質バイオマスは発電などに使われているが、自動車や航空機の燃料として「カーボンニュートラル」の性質ゆえに注目されているのがバイオ燃料である。特に、自動車の燃料となるとうもろこしやさとうきび由来のバイオエタノールやバイオディーゼルは、世界で広く導入されている。燃料供給事業者に対しバイオ燃料の利用義務やガソリンへの混合義務を課している米国でバイオエタノールの利用比率は11%、

---

<sup>13</sup> 日本における「新エネルギー」および「再生可能エネルギー」の定義の変遷については、小林信一（2014）に詳しい。

ブラジルで30%にのぼり、優遇税制で導入を促進しているフランスで11%、タイで15%などとなっている<sup>14</sup>。

日本では、2002年の「バイオマス・ニッポン総合戦略」や後述する2009年の「エネルギー供給構造高度化法」などでバイオエタノールの利用目標量を定め、地域資源の活用と地域の活性化、循環型社会の形成を絡めて、さまざまな原料を用いたバイオエタノール生産の実証試験が進められてきた。農林水産省は2007年度から、国産バイオエタノールの事業化を目指し、北海道や新潟県などで助成を行ってきたものの、十分なコスト削減ができず、2014年に事業化を断念、支援を打ち切った<sup>15</sup>。

また、日本ではバイオエタノールを直接ガソリンと混合して利用するのではなく、ブタンを異性化させたイソブテンとエタノールを4対3の割合で混ぜて製造するエチルターシャリブチルエーテル (ethyl tert-butyl ether: ETBE) が流通している。その理由は、直接混合の場合、もし水分が混入した場合、エタノールにより親和性の高くなったガソリンは腐食性が増し、不具合が起きるといふもの。ETBEはその性質がほぼガソリンと同じなのでその心配が少ないという。国際的にはエタノールの含有率が10% (E10) や20%

(E20)、85% (E85) など様々な比率で直接混合されているのに対し、この理由から日本ではETBEの形で3%までとされている (法律上はE10ガソリンまで供給可能)<sup>16</sup>。

国内でのバイオエタノール生産が高コストで導入が進まない中、カーボンニュートラル推進のためのバイオエタノール導入は、ETBEの形で多くをブラジルから輸入に頼っている。それでも、バイオエタノールの普及はガソリン消費量の1%に過ぎず、欧米に比べて大きく後れている。

#### 8.4 今日の日本のエネルギー政策

日本のエネルギー自給率 (国内産出/一次エネルギー供給) は2020年で11.2%である。これは経済協力開発機構 (Organisation for Economic Co-operation and Development: OECD) の中で35位という低い水準である。主なエネルギー源が国内でとれる石炭や水力だった1960年のエネルギー自給率は58.1%だったが、エネルギー源が石炭から石油になるにつれ、エネルギー自給率は低下していったのである。

再生可能エネルギーに限ってみても、2020年の日本の国内供給割合は15.2%でしかない。世界では、カナダやスウェーデン、デンマークなどの北欧が65%以上であることを見

---

<sup>14</sup> 2020年の実績。経済産業省 (2022) の資料による。

<sup>15</sup> 当時の国産バイオエタノール生産事業については、杉本勝則 (2007) を参照。

<sup>16</sup> 日本の自動車メーカーがE10対応車の販売を既におこなっていたことを受けて、「揮発油等の品質の確保に関する法律」の施行規則の一部を改正し、E10に係る規格等を設定した (2012年4月施行)。

でも、日本の再生可能エネルギー普及率は国際的に低い。

このような日本のエネルギー事情の中で、政府は今後どのようにエネルギー政策を展開しようとしているのであろうか。エネルギー政策は、2002年6月に制定された「エネルギー政策基本法」に基づき、「安定供給の確保」、「環境への適合」及びこれらを十分に考慮した上での「市場原理の活用」を基本方針としている。また、エネルギー政策基本法では、政府はこれらの基本方針に沿ってエネルギーの需給に関する施策の長期的、総合的かつ計画的な推進を図るため「エネルギー基本計画」を定めることとされており、2003年10月に最初の基本計画が策定された。最新の基本計画は2021年10月に打ち出された第6次エネルギー基本計画である。

第6次エネルギー基本計画を概観すれば、重要なポイントは、エネルギー政策の基本的視点(3E+S)と2020年10月に表明された「2050年カーボンニュートラル」を見据え、2030年に向けた政策対応である。まず、エネルギー政策の基本的視点である3つのEとは、エネルギーの安定供給(Energy Security)、経済効率性(Economic Efficiency)、および環境への適合(Environment)であり、Sとは安全性(Safety)を指す。

安定供給については、日本は他国と比べエネルギー自給率が低いため、世界の情勢にエネルギー供給が大きく左右されるリスクを抱えており、エネルギー安全保障の観点から最も重要な課題である。こうした課題を克服し、エネルギーの安定供給を確保するためには、レジリエンス(強靱性)を高め、多層的に構成されたエネルギーの供給体制を、平時・有事ともに適切に機能するように確立しておくことが重要である。

経済効率性については、日本の経済成長を促すために低コストでエネルギー供給を行う必要があり、さらなる向上に向けた取り組みが不可欠である。産業競争力の維持・強化、国民生活の向上を図りつつ、成長戦略としてカーボンニュートラルに取り組むためには、脱炭素技術の低コスト化のための研究開発、徹底した省エネ、AIやIoT等の新たな技術による発電所運転の効率化等により、エネルギーコストを可能な限り低下させなければならない。

環境への適合については、カーボンニュートラルに向けた対応が国際的な約束になっていることもあり、重要性が急激に増している。エネルギー分野は日本の温室効果ガス排出量の8割以上を占めており、気候変動問題への取組においては特に重要であり、エネルギーの脱炭素化には、エネルギーの最終形態だけでなく、電気自動車や太陽光パネル等を支える鉱物の採掘から製造、発電所建設のための建設機械、そして運輸過程など、サプライチェーン全体での二酸化炭素排出を考慮しながら取組を進めることが必要となる。

安全性については、エネルギー政策の大前提であり、特に原子力については、いかなる事情よりも安全性を全てに優先させ、国民の懸念の解消に努めなければならない。また、将来の保安人材の不足、自然災害の頻発・激化、サイバー攻撃の複雑化なども踏まえ、原子力以外のエネルギー源についても、安全性確保への取組が不可欠である。

これらは従来からの基本方針であった3つのEに、東日本大震災後の2014年の第4次

基本計画で盛り込まれた S と併せて、基本方針としているものであるが、第 6 次エネルギー基本計画で重要なのは 2030 年にむけた政策対応である。

2020 年 10 月に菅首相（当時）は「2050 年カーボンニュートラル」を達成すると宣言したが、それに向けて 2030 年までの政策の道筋を示した。具体的には、石炭などの化石電源の割合を緩やかに減少させつつ、再生可能エネルギーの割合を 36%～38%（状況に応じて 38%以上）にし、温室効果ガスの削減割合を 46%、更には 50%の高みを目指すことが明記された。

これらが達成された場合、エネルギーの安定供給に関しては、エネルギー自給率が 30%程度に増加し、経済効率に関しては、電力コストが 9.9～10.2 円/kWh 程度に増加するものの、環境への適合に関しては、温室効果ガスの削減の目標のうちエネルギー起源の二酸化炭素の削減割合が 45%程度に増加するものとみられている<sup>17</sup>。

しかしながら、エネルギー自給率に関しては、資源自給率に加え、技術自給率（国内のエネルギー消費に対して自国技術で賄えているエネルギー供給の程度）も向上させることが重要であり、また、今後化石燃料の価格が高騰することを考慮に入れながら、目標達成のためには状況に応じて柔軟に対応していくことが求められる。

#### 8.5 再生可能エネルギー拡大の方向

カーボンニュートラルの目標に向けて重要視されているのが再生可能エネルギーの拡大である。再生可能エネルギーには法律により複数の定義があるが、後述する「エネルギー供給構造高度化法」では以下のように定義されている。

「太陽光、風力、その他非化石エネルギー源のうち、エネルギー源として永続的に利用することができるものと認められるものとして政令で定めるもの」で、法令においては「太陽光、風力、水力、地熱、太陽熱、大気中の熱その他の自然界に存する熱、バイオマス」が挙げられている。

日本における再生可能エネルギー導入拡大の必要性は、温室効果ガス削減等の環境改善に関するグローバルなものから、エネルギー自給率の向上や化石燃料調達に伴う資金流出の抑制等の我が国のエネルギー政策に関するもの、産業の国際競争力の強化等の我が国の産業政策に関するもの、また雇用の創出や地域の活性化や非常時のエネルギー確保等のローカルなものまで、非常に多岐にわたる。

再生可能エネルギーは、化石燃料と異なり利用時に温室効果ガスである二酸化炭素を排出しないため、化石燃料代替による温室効果ガス削減に大きく貢献する。再生可能エネルギーで発電を行う場合、設備の建設・廃棄等を含めたライフサイクル全体でも、化石燃料による発電に比べて二酸化炭素排出量を大幅に削減可能と分析されている。また、国産エネルギーである再生可能エネルギーの導入拡大によりエネルギー自給率は向上する。こ

---

<sup>17</sup> 経済産業省（2021）、107 頁。



のことは、化石燃料の輸入金額を削減し、海外への資金流出を抑制する。再生可能エネルギーは大規模な運用が難しく価格が高くなりやすいと言われるが、陸上風力発電、バイオマス発電、地熱発電等で技術進歩が進んでおり、化石燃料を下回るコストでのエネルギー供給が期待できる<sup>18</sup>。

再生可能エネルギーの導入は地域経済の活性化を促す。まず、設備設置、メンテナンスやバイオマスの資源収集などの雇用が発生する。再生可能エネルギーは分散型電源であることから特に地域に多くの雇用が創出される。また、維持管理においても雇用が創出されるため、運用時においても定常的に雇用の創出が見込まれる。特にバイオマス発電は、維持管理において他の発電を上回る雇用の創出が期待される。

さらに、多くの再生可能エネルギーは、災害等により火力発電等によるエネルギー供給が途絶えた場合でも、火力発電等と異なり燃料の調達が必要ないため、継続的な発電が可能である。再生可能エネルギーの多くは分散型で需要地に近接しているため、災害時でも供給を確保しやすい。このため再生可能エネルギーは、災害等の非常時における最低限必要なエネルギーの供給源に活用されることが期待される。

このように、再生可能エネルギーは、原子力や火力（化石燃料）に比べ、地域の特性に応じて地域が独自に普及を進めることができるエネルギーであり、地域が主導的にエネルギー政策や地域づくりの一環として進めることが可能である。

再生可能エネルギーは電力のエネルギー源としての活用が期待が寄せられているが、最終エネルギー需要の7割以上を占めるのは非電力分野である。この分野での脱炭素化を図ることが重要であり、特に、自動車・航空・海運・鉄道から構成される運輸部門の脱炭素化が課題となっている<sup>19</sup>。

自動車の脱炭素化については、電気自動車（Electric Vehicle: EV）、プラグイン・ハイブリッド自動車（Plug-in Hybrid Vehicle: PHV）、ハイブリッド自動車（Hybrid Vehicle: HV）や燃料電池自動車（Fuel Cell Vehicle: FCV）の推進が謳われているが、現実問題としては、内燃機関を持たない次世代自動車への転換にはかなり時間を要するとみられる。このような状況で、脱炭素化に向けて二酸化炭素削減に効果のある手段として、バイオエタノールの活用は有効である。バイオエタノールは、従来車はもちろんのこと、HVやPHVにも利用でき、また、航空機用燃料ケロシンの代替となる、持続可能な航空燃料（Sustainable Aviation Fuel: SAF）の原料としても有望である。このような観点から、日本でもバイオエタノールを本格的に導入し、カーボンニュートラルの推進で脱炭素化を目指すことを検討するべきであろう。

---

<sup>18</sup> 再生可能エネルギーの技術的解説は、新エネルギー・産業技術総合開発機構（2014）に詳しい。

<sup>19</sup> バイオ燃料の現状については、小林茂樹（2020）を参照。また、運輸部門におけるカーボンニュートラルに関しては、藤井敏彦（2021）を参照。

## 8.6 日本におけるバイオエタノールの普及のために

日本でのバイオエタノール導入のきっかけは、2005年4月に「京都議定書目標達成計画」が閣議決定され、輸送用燃料に対して、原油換算で年間50万kLのバイオマス由来燃料を導入する目標量が設定されたことである。石油業界はバイオエタノールを原料として生産されるバイオETBEをガソリンに配合することを約束し、2007年にバイオETBEの輸入を開始した。

その後、政府は2009年に「エネルギー供給構造高度化法<sup>20</sup>」（以下「高度化法」と呼ぶ）を成立させた。この高度化法の下で、エネルギー供給事業者に対して、非化石エネルギー源の利用と、化石エネルギー原料の有効利用を促進するため、経済産業大臣が基本的な方針を策定するとともに、エネルギー供給事業者が取り組むべき事項について、ガイドラインとなる判断基準を定めた。また、事業者の計画的な取組を促し、その取組状況が判断基準に照らして不十分な場合には、経済産業大臣が勧告や命令をできることとした。

政府は2010年に高度化法に基づく告示を出して、ガソリンの供給量が年間60万kL以上の石油精製業者を対象に、バイオエタノールの導入目標等を設定した。導入目標量は、2011年度の原油換算21万kLから段階的に引き上げられ、2017年度には原油換算50万kLのバイオ燃料を導入することとされ、以後今日まで目標数量は50万kLのままで推移している。しかし、この数量は日本の年間ガソリンの消費量の1%に過ぎない。

これでは、かけ声はよくても、実際に脱酸素やカーボンニュートラル政策に貢献しているとは言えまい。少なくとも、ガソリンにバイオエタノールを10%混合したE10を目指すべきであろう。もし、E10が義務化されれば、ガソリン車の10%相当の二酸化炭素削減効果が期待され、運輸部門全体でみても約5%の削減につながることになる。

全ガソリンをE10にすることを阻む要因の一つが、日本で採用しているETBE方式である。先に述べたように、その理由は、直接混合すると、水分が混入した場合、エタノールにより親和性の高くなったガソリンは腐食性が増し不具合が起きるというもの。また、ガソリンにバイオエタノールを混合する場合、通常のガソリンと同レベルの蒸気圧に抑えるためバイオエタノールを混合する基材ガソリンの蒸気圧を調整することが必要となる。しかし、自動車メーカーはバイオエタノールに対応できる車種を多く開発しており、実際、欧米での日本車はバイオエタノール混合に対応した仕様で走っている。一方で、ETBE方式は国際的には有毒性や原料であるイソブテンの供給制約等の問題から禁止されていく方向にある。

また、E10の導入に合わせて、国産のエタノール生産を振興することも、エネルギー自給率の向上を目指す今日のエネルギー政策に合致する。エタノール原料をコメに求めるな

---

<sup>20</sup> 正しくは「エネルギー供給事業者による非化石エネルギー源の利用及び化石エネルギー原料の有効な利用の促進に関する法律」。

らば、現在 40 万ヘクタールを超す日本の耕作放棄地を活用できる。本報告書第 1 章で示されているように、1 トンのコメから 450kL のバイオエタノールの製造が可能である。コメの収量は 1 ヘクタール当たり 5.3 トン程度であるが、これを高収量品種の導入で 10 トンまで引き上げれば、耕作放棄地だけで 400 万トンを超すコメが生産され、200 万 kL 近いエタノールが生産できる。これは日本ですべての自動車に E10 を課したときに必要となるバイオエタノールの約 40% に相当する。

問題はコストであるが、カーボンニュートラルの環境価値に加え、農地の有効利用、地域の活性化とそれに関わる関連産業の経済効果を勘案すれば、コメによるエタノール国内生産を財政的に支援することは、意義のある政策だと思われる。

## 8.7 おわりに

エネルギーは言うまでもなく、経済活動を支える基礎である。エネルギーとなる原材料は時代とともに変化し、今、経済活動は持続可能な地球と人類のために、将来世代を考慮した資源配分が求められている。その原点がエネルギーの脱炭素化であり、カーボンニュートラルの実現である。

電力エネルギー源のカーボンニュートラルとともに、非電力、特に運輸部門の燃料のカーボンニュートラルが求められている。自動車であれば EV や FCV などの技術開発に期待がかかるが、一方で、これらを製造からリサイクルまで含めたトータルでの二酸化炭素排出を見た場合、必ずしも優れているわけではない。

むしろ、燃料そのものをカーボンニュートラルにする方向が有効であり、バイオエタノールはそれに合致する。日本はガソリンのバイオエタノール混合が欧米に後れをとっており、政策的に後押しする必要がある。これまで ETBE 方式で導入してきたエタノールの導入をエタノール直接混合に切り替え、少なくとも E10 までに拡大することが望ましい。

さらには、エネルギー自給率向上の観点から、エタノール原料の国産化をすすめ、特に、耕作放棄地を活用しコメからエタノール生産を実現すれば、地域経済の活性化にもつながる。コストの問題を解決する必要があるが、技術革新を促すためにも、政策的なてこ入れにより、バイオエタノールの国産化に向けたロードマップを示すことが重要となる。より長期的視点に立って、日本のエネルギー政策を確立することを求めたい。

<参考文献>

- 藤井敏彦（2021）「運輸部門におけるカーボンニュートラル実現に向けて」日本パブリックアフェアーズ協会。
- 井塚雅浩（2019）「転換期を迎える日本のエネルギー政策」香川大学『経済政策研究』第15号。
- 泉谷清高（2021）「日本のエネルギー政策—オイルショックから東日本大震災まで—」『日本大学大学院総合社会情報研究科紀要』No.22。
- 経済産業省（2018）「日本のエネルギー、150年の歴史 ①～⑥」。  
<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/history1meiji.html>
- 経済産業省（2021）「エネルギー基本計画」
- 経済産業省（2022）「バイオ燃料を取り巻くエネルギー情勢について」我が国のバイオ燃料の導入に向けた技術検討委員会（第6回）提出資料。
- 小林茂樹（2020）「バイオ燃料の現状と将来（1）～（3）」国際環境経済研究所。  
<https://ieei.or.jp/2020/10/expl201027/>
- 小林信一（2014）「再生可能エネルギーの政策史」『再生エネルギーをめぐる諸相：科学技術に関する調査プロジェクト調査報告書』国立国会図書館調査及び立法考査局。
- ローズ、リチャード（2019）『エネルギー400年史』草思社（秋山勝・訳）。
- シュミル、バーツラフ（2019）『エネルギーの人類史（上・下）』青土社（塩原通緒・訳）。
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構編（2014）『NEDO 再生可能エネルギー技術白書 第2版』森北出版。
- 杉本勝則（2007）「バイオエタノール利用の現在と未来」『立法と調査』No.263、参議院常任委員会調査室。

## < バイオ燃料検討会の提言 >

バイオ燃料検討会では、再生可能エネルギーやカーボンニュートラルの理解を深めるとともに、人間にとってのエネルギーのあり方やライフスタイルにも言及し、地球の限られた資源を持続可能的に利用するための社会のあり方を含め議論してきた。ここに検討会で議論となった主要な5つの論点を挙げ、検討会として以下の提言を行う。

論点1：検討の過程で明らかになったことは、エネルギーのあり方に関する一般向けの情報の少なさと、技術者・研究者および政策担当者と一般市民の間の溝の深さである。エネルギー問題は人々の生き方を問う問題であるが、その議論の場がなく報道も技術論に偏る傾向がある。その点の是正つまりエネルギーを生活から考える場を増やさなければならない。

### < 提言1 > 「脱炭素に向けた社会的ネットワーク構築」

脱炭素に向けて、人々はどのように生活様式を変えていけばいいか、節水や節電、食品ロス等の具体的取り組みの輪を広げるために、幅広い社会的ネットワークを構築する。

論点2：エネルギーの転換は温室効果ガス（GHG）の増加を抑制するためであり、その方策には太陽光、風力、地熱等様々な方法があるが、輸送部門におけるエネルギーには電気や水素の活用が期待がかかる。一方、それらの生産過程では二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）の排出が避けられず、また、コストやインフラ整備の問題が残り、しばらくは低炭素のバイオエタノールの利用を推進する必要がある。そのために、未使用の森林資源や農業残渣、食物残渣等の活用とCO<sub>2</sub>吸収速度の大きい植物の育種などの研究開発が必要である。

### < 提言2 > 「バイオエタノールの原料となる素材の研究・利用の拡大」

バイオエタノールの原料となる植物の生産性向上のための研究開発投資を推進し、一方で、食物残渣や廃油利用を効率的に行うためのシステムを確立する。

論点3：自動車用燃料として、海外ではバイオエタノールをガソリンに直接10%混合するE10が普及しており、国によっては85%混合（E85）の燃料で走っている自動車もある。しかし、日本では直接混合すると不具合が起きるとの懸念から、ブタンを異性化させたイソブテンとエタノールを混ぜて製造するエチルターシャリブチルエーテル（ETBE）の形で導入されており、エタノールの利用率は1.7%に過ぎない。日本車でも海外ではE10対応の自動車が走っており、国内でもE10またはそれ以上の混合率でエタノールを活用すべきである。

<提言3> 「自動車用燃料のエタノール利用における E10 の実現」

日本での自動車用燃料のエタノール利用において少なくとも 10%の混合 (E10) を推奨することで、エタノール利用率を向上させる。

論点4：現時点の日本では、エタノールの原料の生産は全く行われていない。そのため当面は、広く供給可能な海外からの輸入で賄い利用を発展させるのが妥当である。しかし、エネルギー自給率の向上のためには、エタノールも国産原料で賄うことが望ましい。日本各地の耕作されていない 40 万 ha を超える農地（耕作放棄地）を活用し、原料生産を行うことが可能である。たとえば、40 万 ha の耕作放棄地に 10 トン/ha の高収量品種米を導入すれば 200 万 kL 近いエタノールが生産できる。これは日本ですべての自動車用燃料に E10 を導入したときに必要となるバイオエタノールの約 40%に相当する。農地の維持と有効活用は食料安全保障の観点からも重要である。

<提言4> 「コメを原料とするバイオエタノールの国内生産」

耕作放棄地等を活用し、高収量品種の導入等でコメの生産コストを削減、さらに流通インフラ等を整備し、コメを原料とする国内でのエタノール生産を推進する。

論点5：脱炭素社会は、単にエネルギーの節約や二酸化炭素を出さない技術開発だけでは実現しない。我々の生活のあり方を見直し、将来世代にわたる人類の生き方を問題としなければならない。資源が有限であることの認識とその活用に知恵を絞るためには、幼い頃からの教育が重要である。脱炭素と調和するライフスタイルは教育を通じて浸透する。人々は社会が持続可能となる生活様式に変えていくことが求められるが、その基盤となる世代を超えて脱炭素社会の意義を理解するための教育に力を注がなければならない。

<提言5> 「脱炭素社会を目指した意識改革と教育の充実」

脱炭素社会に向けて、人間社会を持続可能にするような生活様式に切り替える必要があるが、そのために、世代を超えて脱炭素の意義を理解し実践する教育体制を整える。