講座

クリーンエネルギと農業（その1）

—クリーンエネルギと地球環境問題—

片山秀策†
(Shusaku KATAYAMA)

I. はじめに

オゾン層の破壊，温暖化，酸性雨，熱帯雨林の消失，砂漠化，海洋の汚染などの地球規模の環境の悪化が問題になってきている。これらの問題は，急速な工業化や経済成長を追求する人類の活動が，自らの生存基盤である地球環境に影響を与えることにより起こったものであり，加速度的に環境の破壊が進んできている。また，問題の多くは，地球が非常に長い年月をかけて生産，蓄積した化石エネルギを，地球の生態系を無視して非常に短時間のうちに消費することで起こった問題でもある。すなわち，地球環境問題はエネルギの問題といってもよい。

地球環境問題を現状のまま放置すれば，近い将来人類にとって生存が危ぶまれる状況が予測され，地球環境問題を解決するための地球レベルの対応が早急に求められてきている。そのためには国際的な行動計画が重要となるが，その基本はあくまでも省資源，省エネルギといった，身近な地域レベルでの対応の積み重ねにある。

農業においても地球環境問題の影響を受けることは免れることができない。ところが，本来食料エネルギだけでなく各種エネルギを生産し，地球環境へ低インパクトな産業であった農業が，現在では石油を始めとする外からのエネルギに大幅に依存するように変質してきてしまっている。そのため，工業だけでなく，農業も温室効果ガスの発生，土壌の劣化，水質汚染等の問題等の原因のひとつにあげられている。

農業においても，長期的展望に立って，有限な資源を有効に活用しつつ，地球環境を保全し，持続可能な発展を考える必要がある。そのためには，食料生産だけでなく国土保全，洪水防止等の多面的機能等，農業の持つ本来の機能を強化しつつ，農業・農村地域に賦存する地球環境への影響の小さい再生可能な各種クリーンエネルギを活用した新たな農業の在り方を考えてゆく必要があろう。

この講座は，このような視点から本号より6回にわたり地球環境とエネルギ問題，各種クリーンエネルギの研究と実用化の現状と問題点，環境に調和したエネルギ利用のあり方，将来方向等について述べたいと考えている。

ここでは講座の第1回として，①現在焦点となっている地球環境問題について，農業との関連を含めた基礎的な事項，②地球環境問題の多くはエネルギ問題につながることから，わが国農業におけるエネルギ利用状況とエネルギ資源の現状，③最後に，地球環境問題とエネルギ問題に対応し，農業を持続的に発展させるために必要な要素としてのクリーンエネルギについて概説する。

II. 地球環境問題と農業

1. 地球環境問題とは

二十年前にローマクラブが出した「成長の限界—人類の危機レポート」は，ちょうど第一次石油危機，さらに食料危機とも重なり非常にタイムリーなものであった。このレポートは，当時の水準で経済が成長し，人口が増加し，資源が消費されるなら

Clean Energy and Agriculture (1) —Clean Energy and Threshold of Global Environment—

† 農林水産省農業工学研究所地域資源工学部地域エネルギー研究室

キーワード　クリーンエネルギ，地球環境問題，小規模分散型，資源賦存量，エネルギ問題，再生可能エネルギ，持続性

ば，環境が汚染され，食料が不足し，地球が人類の生存を保障できなくなると警鐘を鳴らしていた[1]。しかし，三次にわたる石油危機の嵐の中でエネルギ危機，食料問題にわい小化されている内に地球規模での環境の汚染や破壊が加速度的に進行してきていた。すなわち，地球環境問題は，急に始まったわけではなく，局地的に起こったものが徐々に蓄積，増幅されて今日の状態に至り，気が付いたときには，地球規模の環境破壊，汚染が進んでいたのである。

地球は人類の尺度にすると無限のように見えるが，人類の活動できる空間は地上から10 kmほどで，それにオゾン層までの大気の厚さ25 km，海の最大深さ10 kmほどを加えても，半径およそ64,000 kmの地球の表面のごく一部でしかない。この狭い閉鎖した空間の中で自然と資源を切り売りして，豊かな生活を手にいれてきた。その結果，閉鎖した空間の資源は失われようとしているし，汚染が進行している。その原因として安価，コンパクトで強力なエネルギであり，工業原料でもある石油，石炭等の化石エネルギの存在を忘れることができない。たとえば，**図-1**に示すように温室効果ガスの発生源別の温暖化への寄与はエネルギ起源のものが多いことからも地球環境とエネルギの関係は明らかである[2]。

2. 地球環境問題と農業との関係

現在，地球環境問題として①オゾン層の破壊，②温室効果ガスによる地球の温暖化，③酸性雨，④熱帯林の減少，⑤砂漠化，⑥海洋汚染，⑦有害廃棄物の越境移動，⑧野生生物の減少，⑨発展途上国の公害等があげられている[2]。これらの問題の原因と一般的な影響については多くの情報があると思われる。ここでは個々の地球環境問題ではなく，農業の地球環境問題への影響と，地球環境問題の農業への影響について整理する。地球環境問題については，入門的な文献が多く出版されているので，必要な方は一読を薦める。

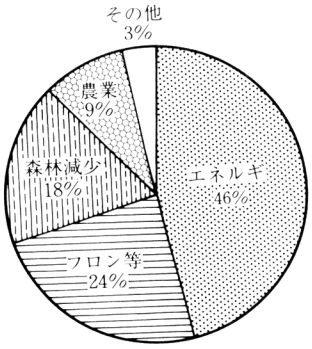

図-1 1980年代における人間活動の地球温暖化への部門別寄与

(1) 農業の地球環境問題への影響 太陽エネルギを作物により固定する生態系を活用した産業である農業が，省力化，低コスト化，高生産性のために機械化，施設化を進め，化石燃料，化学肥料，農薬等を投入するエネルギ高度依存型の産業となった。その結果，残留農薬，土壌の劣化，水質汚染等の問題を起こし，農業が工業と同じように資源を浪費し，廃棄物をまき散らす産業として，自然の生態系にインパクトを与え，生態系に過重な負荷を与えることで農業生産の持続性が失われる可能性もでてきた。

農業の地球環境への影響は，①肥料成分，家畜糞尿の流失による湖沼，河川，地下水の汚染，②家畜からの温室効果ガスであるメタンの発生，③除草剤，殺虫剤等の農薬による，環境の汚染と野生生物への影響，④農業のための開拓による野生生物の生息環境の破壊，⑤商業的伐採や大規模な放牧のための熱帯林の破壊，それによる砂漠化，異常気象の発生，温室効果ガスの吸収源の破壊，⑥過放牧による砂漠化，⑦土壌侵食，土壌劣化，⑧潅漑農業による塩害等多くのものがある[3]。農業土木の建設工事でのエネルギ消費も温室効果ガスを発生しており，地球環境とは無縁ではない[1]。

(2) 地球環境問題の農業への影響 地球環境問題は，たとえば，熱帯林の破壊は，温室効果ガスの吸収源の破壊や砂漠化の原因となり，海洋の汚染は二酸化炭素ガスの吸収や水蒸気の発生などを妨げることで，温暖化，異常気象等の原因となる等，個々の問題が独立して起こっているのではなく，それらが相互に複雑に影響しあっている。このような複数の環境要因が複合した環境への影響は，定性的には把握されているものの，正確に予測できてはいない。

地球環境問題の農業への影響は，①オゾン層の破壊により増加する有害紫外線による植物やプランクトン等の成育阻害，②温室効果ガスによる温暖化では，低地の水没，塩害，気候帯の北上，降雨分布の変化，砂漠化等，③酸性雨による湖沼，土壌の酸性化等であり，農業生産に影響が出ることが予測され

ている[3),5)]。すでに，中国，ドイツ等では酸性雨等の影響が出ているところが見られる。逆に，二酸化炭素ガス濃度の上昇による作物収量の増収，気温の上昇による高緯度地方への農業の展開等のポジティブな影響予測もある[5)]。

このように，地球環境問題の農業への影響はすべてが明確となっているわけではない。しかし，地球規模で農業生産のアンバランスが起これば，わが国のように食料の大部分を輸入に依存している国にとって致命的影響が出る。現在わが国の農業への地球環境問題の影響は顕著ではないが，影響が出始めたときには手遅れとなる。

3. 農業の持続的発展

持続性を考えない生産は，廃棄物と汚染物質の生産である。工業は，これまでの公害問題に見られるように，空気と水はただであるという見方に立ち，環境汚染を防止または浄化するコストを見込んでいない。なぜなら，廃棄物と汚染物質の浄化にかかる費用は，計算可能であるが，その金額が膨大であるため実行困難だからである。また，そのためには膨大なエネルギが必要であり，そのことで環境問題が発生するというイタチゴッコとなる。

わが国の農業は，戦後の飢餓的状況から抜け出すために，工業的な発想による生産効率を追求し，有害であることを知りつつ農薬を使い，肥料やエネルギを大量に投入して食料増産を目指してきた。その結果，輸入食料も含めて飽食の時代と呼ばれるようになった。これからは，人類が生き延びるための，農業を目指していかなければならない。そのためには，これ以上地球環境を悪くすることのないよう，持続的な農業の展開が必要である。

農林水産省も平成3年5月に「新しい食料・農業・農村政策検討対策本部」を設置し，「農業が有する環境保全機能と物質循環型産業としての環境にやさしい特質を活用するほか，地域の実情に応じた持続性のある低投入型農法の推進など環境保全的視点にたった農業の普及，定着を図るため，関係制度，施策の検討を行う」ことを検討し始めている。

III. 農業とエネルギ

エネルギ問題には，それを消費することにより引き起こされる地球環境問題と，消費するためのエネルギ資源問題の二つがある。前章で地球環境問題との関連について述べたので，ここでは農業におけるエネルギ消費の現状と資源量について述べる。

1. わが国の農業でのエネルギ消費の現状

わが国は石油，天然ガス，石炭等の化石エネルギ資源が少なく，エネルギ全体の82.3%，石油については99.7%を輸入に依存しているエネルギ輸入大国である[6)]。

他産業が石油危機以来省エネルギ，脱石油エネルギの努力を重ね，石油エネルギへの依存度を低下させてきた。一方，農業は石油エネルギへの依存度を高めてきている。すなわち，**表-1**，**2** にみられるように，農業のエネルギ消費は，わが国の石油エネルギの2.1%にしかすぎないが，その依存度は99.5%と他産業と比較して，石油依存型の産業となっている[6)]。また，国内のエネルギ消費量は昭和30年度を1とすると，平成2年度には7.6倍であるのに対し，農業部門は33倍に達している[6)]。農業におけるエネルギの主な用途は **表-3** に示すようなものがあるが[8)]，この他農業基盤，施設の造成・建設，肥料，農薬，被覆材等農業資材の製造にも石油エネルギが消費されている。その結果，作物によってはエネルギの投入に対して生産されるエネルギの割合が低下してしまったものも出てきている。

たとえば，植物工場は石油エネルギ依存型農業の典型である。エネルギがなくなった瞬間に生産が止まるという，まったく持続性のないもので，その意味で農業とはいえない。

2. 世界のエネルギ資源の現状

環境問題を考えずに将来も現在のように化石エネルギに依存すると仮定しても，わが国のエネルギの需要供給の現状と将来は，世界のエネルギ賦存量と消費状況からも楽観できる状況ではない。

(1) **エネルギ賦存量**　世界のエネルギ資源の埋蔵量は，現在のエネルギ消費量であれば **表-4** のように推定されており[6)]，需要が増加すると可採年数はさらに短縮されることになる。採掘技術，探査技術の向上により，資源埋蔵量は増加することが予測されるとしても，無限に存在するわけではない。また，エネルギ資源は，確実に減少しており，枯渇するこは明白である。

さらに，石油，石炭等の化石エネルギ資源は，非

表-1 農業におけるエネルギ消費量
(単位：兆 kcal)

年度	国内エネルギ消費量計 ①	石油依存度	農業部門 ②	石油依存度	国内消費に占める農業の割合 ②/①
30	411	22.4%	2	84.2%	0.6%
35	653	36.9	4	86.2	0.6
40	1,085	59.3	11	94.8	1.0
45	2,112	67.2	28	96.8	1.3
50	2,511	67.1	25	95.4	1.0
55	2,645	63.2	36	96.6	1.3
60	2,706	59.9	43	94.1	1.6
61	2,717	61.2	49	94.7	1.8
62	2,847	61.1	54	95.1	1.9
63	3,010	61.2	62	95.8	2.1
元	3,113	60.8	65	95.8	2.1

(注) 農業部門には林業部門が含まれている。

表-2 部門ごとにみたエネルギ消費 (平成元年度)
(単位：10^{10} kcal, %)

	石炭	コークス	石油	電力	その他	合計
産業部門	12,242 (7.8)	28,612 (18.3)	77,432 (49.6)	30,902 (19.8)	6,835 (4.4)	156,023 (100.0) 〈50.1〉
うち 農林業	—	—	6,271 (95.8)	249 (3.8)	25 (0.4)	6,545 (100.0) 〈2.1〉
水産業	—	—	4,289 (100.0)	—	—	4,289 (100.0) 〈1.4〉
民生部門	75 (0.1)	736 (1.0)	33,957 (44.9)	28,142 (37.2)	12,684 (16.8)	75,594 (100.0) 〈24.3〉
運輸部門	—	—	69,596 (97.7)	1,630 (2.3)	—	71,226 (100.0) 〈22.9〉
部門計	12,316 (4.0)	29,348 (9.4)	189,394 (60.8)	60,673 (19.5)	19,521 (6.3)	311,252 (100.0) 〈100.0〉

(注) ①「部門計」は，非エネルギ部門を含んだ数字である。
②( )および〈 〉はシェアを示す。

常に偏在しており，持てる国と持たざる国がはっきりしている。その供給は，石油危機や1991年に起きた湾岸戦争にみられるように，絶対安定といった状態ではない。また，価格についても現在は低水準であるけれど，需要供給によりどのように推移するか予測することが困難である。

(2) エネルギ消費の状況と将来 現在，世界のエネルギの消費は，原油換算で80億 t の水準であるが，その内訳は OECD 諸国が57%，共産圏諸国が21%，発展途上国が22%と，世界人口の16%の OECD 諸国が全体の6割近くのエネルギを消費している[6)]。また，エネルギ利用についても偏重している。将来，共産圏諸国と発展途上国のエネルギ消費は，生活様式の変化，生活水準の向上などで増加することが予想される。今後，当分は化石エネルギを基礎としていかざるを得ないが，子孫に地球と資源を残すためには，エネルギの量，形態，質を考え，消費構造を変革していく必要がある。

表-3 農業におけるエネルギの主な用途

油種等	主な用途
ガソリン	動力用（農業機械（小型）），輸送用（農用トラック）
灯油	乾燥用（穀類，たばこ等），加温用（養蚕，畜産等）
軽油	動力用（農業機械（大型））
重油 (主にA重油)	加温用（施設園芸），乾燥用（茶，いぐさ等）
電気	動力用（潅漑排水，脱穀調製，家畜飼養管理等） 加温用（育苗等），照明用（養鶏，花き等）

今後のエネルギ消費を考えるとき，「地球環境面からの制約がエネルギ消費の限界を決める」という視点が必要である。また，バイオマスやバイオマスで作ったアルコール等を発展途上国から開発輸入することは，発展途上国の自然を収奪することであり，環境破壊の輸出でしかない。

IV. クリーンエネルギ

1. 再生可能なクリーンエネルギ

エネルギには再生可能なものと再生不可能なものがある。再生可能なエネルギとは，自然界の中に常に存在する太陽エネルギ，風力，水力等や比較的短期間で再生産することが可能な農作物や木材といったバイオマス等の自然エネルギである。

このような再生可能なエネルギは，永続的に，エネルギ供給を保障できる持続性のあるエネルギである。さらに，再生可能なエネルギは，汚染源とならず地球環境を持続的に維持可能なエネルギであり，その意味でクリーンエネルギである。

一方，再生不可能なエネルギは，化石エネルギのように，極めて長い時間をかけて生成されたものである。原子力も，現在原子力産業が頼りにしているウランが天然にしかなく，増殖炉による再生産がもし可能であるとしても，核燃料の生産，核廃棄物の処理・管理に膨大なエネルギが必要であり，再生不可能なエネルギといえる。これらのエネルギは，再生できないだけでなく，消費することで環境汚染を

表-4　世界のエネルギ資源埋蔵量

		石油	天然ガス	石炭	ウラン
究極埋蔵量		2兆バーレル 自由世界 1.5 共産圏 0.5	204 兆m^3	8.4 兆 t （うち高品位炭 5.5兆 t）	不詳
確認可採埋蔵量 (R)		'89 年末 10,016 億バーレル 自由世界 9,175 共産圏 841	'89 年末 113 兆m^3 自由世界 69 共産圏 44	'87 年末 1 兆3,113億 t うち高品位炭 1 兆 755 億 t 自由世界 3,291 共産圏 7,464	'88年1月 230万 t $ 80/kgU 以下 162万 t $ 80～$ 130/kgU 68万 t
地域別賦存状況	北米	3.2%	6.5%	高品位炭 10.9%	26.4%
	中南米	12.5	5.9	1.1	8.3
	西独	1.9	4.8	2.7	8.0
	中東	65.9	30.7	—	0.2
	アジア・太平洋	2.3	6.2	10.1	25.5
	アフリカ	5.9	6.7	5.8	31.6
	共産圏	8.4	39.2	69.4	不詳
年生産量 (P)		'89 年 218 億バーレル 自由世界 162 共産圏 56	'89年 210 百億m^3 自由世界 123 共産圏 87	'87年（高品位炭） 32.8 億 t	'86年 3.7万 t （共産圏を除く）
可採年数 (R／P)		'89年 全世界 46年 自由世界 57 共産圏 15	'88年 全世界 56年 自由世界 59 共産圏 51	高品位炭 全世界 328年	63年 （共産圏を除く）

引き起こす廃棄物を残す。

クリーンエネルギは，石油エネルギの代替としてエネルギ危機の度にクローズアップされてきたが，環境問題を考えず石油エネルギとまったく同じ使い方を求めるため，現在のところ石油価格の低下により開発・利用が低迷している。　クリーンエネルギの種類とその利用形態は，**表-5** に整理でき，各種エネルギに変換することが可能である。

2.　クリーンエネルギは地域密着型エネルギ

クリーンエネルギの資源としての特徴は，化石エネルギに比べると，①再生可能であること，②広く非常に希薄に分布していること，③季節や気候条件により変動する，④貯蔵，運搬が難しい等である。これらの点が，クリーンエネルギを化石エネルギの代替として利用することを妨げているとする意見もある。なぜなら，現在化石エネルギが使われているような大規模集中型のエネルギ利用では，常に同じ量を大量に供給する必要があるため，このような特性を持つクリーンエネルギを化石エネルギのように扱うことが非常に難しいからである。

化石エネルギを中心とする効率性基準による大規模集中型のエネルギ利用は，エネルギの供給者と消費者の分離をおこし，エネルギを生産するプロセス，環境への影響などをブラックボックスにしてしまった。その結果，エネルギ消費者はエネルギの残量や環境汚染等を意識せずに，浪費することが可能となった。そのため，一見効率が高いと考えられている大規模集中型のエネルギ利用は，集中暖房で使わない部屋までも暖房してしまうというように利用の場面で効率的とならない。

クリーンエネルギは，このような大規模集中型のエネルギ利用には，まったく向かない。もし，希薄なエネルギを特定の場所で大量に採取して遠隔地に輸送するならば，採取地の予測できない生態系への影響は避けられない。

したがって，クリーンエネルギの利用は，その地域に賦存するエネルギを，その地域に合った形で利用する小規模分散型となる。小規模分散型のエネルギ利用は，伝統的な農村地域で行われてきたエネルギ利用である。それは，暮らしの中に取りこまれた，目にみえるエネルギ利用であり，地域社会に密着していなければ実現できない。エネルギの供給と

表-5 クリーンエネルギとその利用形態

エネルギの種類	利用形態
太陽エネルギ	熱源／発電／照明
水力エネルギ	発電／動力
風力エネルギ	発電／動力
波浪・潮汐エネルギ	発電／動力
地熱エネルギ	発電／熱源
寒冷エネルギ	冷熱源
バイオマス	燃料／工業原料

消費が一体となれば，エネルギ消費の在り方を考え，省エネルギ，リサイクルによる，エネルギと資源の消費量と廃棄物の低減も可能となる。

このことから，大規模集中した都市でクリーンエネルギを利用することは難しく，農業・農村地域こそがクリーンエネルギの利用の中心的役割を果たすことが可能である。

3. クリーンエネルギの使い方

クリーンエネルギは，再生可能で多様なエネルギを供給することが可能であるが，必要とするあらゆる需要に応えられるわけではない。したがって，環境への影響を考慮しながら，クリーンエネルギと化石エネルギを組み合わせることが必要である。たとえば，化石エネルギの利用は，鉄を溶かす，製造のための基本的な機械を作る等，化石エネルギにしかできない仕事に限定し，生活，機械の運転，維持管理等に必要なエネルギは地域内で自給できるクリーンエネルギを利用することである。そうすることで，環境への影響は大きいが，エネルギとして質の高い化石エネルギの消費を制限することができ，資源の浪費も防ぐことができる。さらに，エネルギが多様化できるということは，エネルギ供給が安定することでもある。

食料問題と同様，本気でクリーンエネルギの利用とその技術開発を考えておかなければならない時期にきている。現時点では非現実的のように思われるであろうが，地球環境の状況によっては，化石エネルギ消費の大幅な制限もありうるため，化石エネルギゼロを想定した技術開発も必要であろう。

V. おわりに

地球環境，エネルギ，食料等の問題は，小数の国が改善しても問題の解決とはならず，あらゆることを地球規模で考えなければならない。私たち一人一人が日常享受している生活の全てが地球環境につながっているという認識が必要である。その意味で，地球環境問題は地域からの発想が重要であり，地域が持続的になれば，その積み重ねである地球環境も持続的になるであろう。そのためには，再生可能なクリーンエネルギの活用が重要になるであろう。

クリーンエネルギを安定的に供給するためには，農業・農村地域にクリーンエネルギ利用を受け入れる基盤が必要である。小水力利用の可能な水利施設，バイオマスを生産可能な圃場等がすでに整備されているものがあり，これらは農業土木技術が支えてきている。したがって，クリーンエネルギは農業土木とは，決して無縁ではないことを強調しておきたい。

農業土木は，これまで農業・農村を基盤から支える技術として，生産だけでなく地域の多面的機能の維持増進に寄与してきた。今後農業の持続的発展を支える技術としての期待がもたれるところである。そのためには，地球環境問題とエネルギ問題を視野に入れた技術として発展する必要があろう。

次回から，クリーンエネルギのそれぞれについて，技術の現状と展望，さらにエネルギの環境への影響も考慮した評価等について講座が展開される予定であるので期待されたい。

引用文献

1) Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., Behrens III, W. W.（大来佐武郎監訳）：成長の限界—ローマクラブ「人類の危機」レポート，pp. 33～138 ダイアモンド社（1991）
2) 環境庁：平成3年度版　環境白書，pp. 3～27大蔵省印刷局（1991）
3) 農林水産省農業環境技術研究所：地球環境と農林業，農業環境研究叢書第7号，pp. 45～205 農業環境技術研究所（1991）
4) 大林組：建設業界の CO_2 排出量日本全体の3分の1，朝日新聞1月22日（1992）
5) 黒柳俊雄：地球環境と農業・人間生活をとりまく諸問題〔1〕地球の温暖化と日本農業への影響，農業および園芸 **66**（6）pp. 707～715（1991）
6) 資源エネルギー庁長官官房企画調査課：総合エネルギー統計　平成2年度版，通商産業研究社（1991）
7) エネルギー利用研究会：エネルギー利用研究会中間報告—農業分野のエネルギー利用の現状と課題，pp. 43～44 エネルギー利用研究会（1991）

〔1992. 2. 3. 受稿〕