

## ■ 展望・解説 ■

## 農業分野におけるエネルギー消費の現状

## Energy Consumption in Agriculture Production

並 河 清\*

Kiyoshi Namikawa



## 1. はじめに

農業生産におけるエネルギーの利用については、Pimentalによる米国でのトウモロコシ生産における報告<sup>1)</sup>が有名である。これには農業機械の生産に要したエネルギーも含まれている。これに倣い日本の稲作についても試算がおこなわれた。その後代替エネルギーの可能性も取り組まれたが、最近では、環境保全の立場から炭酸ガスに注目が移っている。筆者の主たる研究の場である農業機械学会では環境保全機能向上農業生産方式について調査を行っている。本報ではこの資料<sup>2,3)</sup>なども活用してエネルギー利用の現状と農業生産の場における炭酸ガス発生について概観しよう。なお、農業、農業機械、エネルギーのデータの多くは各年度のポケット農林水産統計<sup>4)</sup>によっている。

## 2. 農業におけるエネルギー利用の現状

## 2.1 農業機械化の動向

かつては重労働を前提とした日本の農業も、作業条件の改善から省力化という時代の趨勢と共に、機械の利用が進んで来ている。代表的な作物として水稲作に例を取ると、現在日本の全水田の96~97%が田植機で移植されるようになってきている。この場合も初期に用いられた歩行形2条植えの機械では、1ha植付けるのに、しろかきした水田を注意深く14km以上歩かねばならなかったが、乗用形に発展し、8条植えで作業速度1.2m/sの速度の機械も使われてきている。収穫についても、種々の機械が考案されたが、まず小型のバインダ(刈り取り結束機)が普及し、やがてこれが日本独特の精度の高い自脱形コンバイン(刈り取り、脱穀、選別機)に移行し、この自脱形コンバインも大型のものが、数は多くないが使われるようになってきている。平成3年の水稲作の場合、機械刈りの面積は

99.2%で、その内78.2%が自脱形コンバイン、19.4%がバインダーである。このようなこともあって、農業における石油エネルギーの消費は年々増加の傾向にある。大型のものは共同作業や賃刈りを専門とする人達が長時間使用する場合もあるが、中小形で兼業農家が休日みの作業を前提として、経営面積に相当するものより高性能のものを購入している場合も多い。主要農業機械の1台当たりの作業面積を作付規模別にみると、農家の利用時間は経営規模に比例している。最初から経済性を考慮していない場合や家庭機械的感覚のものもあろう。そのため機械を生産するために、多量のエネルギーを使用していると思われる。欧米のコンバインは構造も自脱形と異なり、大きさも日本の水田で使用されているものに比べて大きい。なお、日本の水田の約2%がこれによっている。自脱形コンバインの利用台数124万台を、広大な面積にトウモロコシや小麦を栽培しているアメリカの台数64万台と比べると、どちらかが誤植ではないのかと疑う読者もおられると思うが、見方によってはこれが日本の各種産業を人的に支えているとも考えられる。

農作業で使用する、化石燃料の量は、種々の条件によって左右される。水稲栽培において石炭散布から収穫までに必要とする燃料の試算例<sup>2)</sup>では、10a当たり軽油7.8ℓ、ガソリン1.2ℓで、収穫(2.5ℓ)と耕起(2.6ℓ)が最も多い。この他に育苗用の電力11kWhと乾燥調製のために灯油12ℓと電力8kWhを必要としている。これらの値に、燃料等に含まれている熱量とこれらを生産するのに要したエネルギーを加算したエネルギー費用<sup>5)</sup>を基に所要エネルギーを求めると、1,200MJになる。なお、日本の農業では古くから面積の単位として反(300坪、991.8m<sup>2</sup>)が使用されていたため、基準単位として10aが多く使用される。

## 2.2 稲作における労働時間

エネルギーの問題とは直接的には結びつかないが、このような機械の利用によって水稲作の労働時間が減

\* 京都大学農学部農業工学科教授  
〒606-01 京都市左京区北白川追分町

少少してきている。図-1はこの20年間の10a当たりの労働時間の変化を示している。これも農家の規模によって異なり、平成3年産米の場合、10a当たり43.1時間であるが、5.0ha以上経営している農家では26.0時間であった。小さい経営面積を除外し、10a当たりの作業時間を38時間とした場合、1週間40時間働き、1日10MJの食事等を摂取するとして、10a当たりの労働エネルギーは66.5MJとなる。しかし、果樹や野菜は労働集約的であり、代表的な果樹であるミカンの場合、傾斜地が多いため、機械の導入が困難で、昭和50年代半ば以降省力化は進んでいない。園芸の場合、平成2年のデータによれば、一般的な果菜類で最も労働時間の多いのがキュウリで、785.6時間/10aである。果樹ではナシが最も多く409.6時間/10aで、ミカンは182.5時間/10aである。

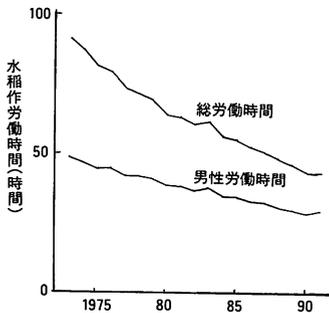


図-1 水稲作10a当たり労働時間

規模の大きいアメリカの水稲については、確かなデータを持ちあわせていないが、3年前北イタリアの水田地帯の農業試験場を訪問し、大中小4戸の水田農家と精米工場を案内していただき、使用している農業機械と水田を見て来た。水田の規模が大きいだけに、その付近の農家の平均10a当たりの作業時間は、ほぼ4.8時間であった。これは、田植えを行わず、直接播種していることも大きな理由の一つである。なお、水稲ではないが、米国のトウモロコシの場合<sup>1),6)</sup>、10a当たりの作業時間は1945年で5.7時間、1959年で3.5時間、1970年で2.2時間、1983年で1時間である。

### 2.3 化学肥料・農薬とエネルギー

農作業に必要なエネルギーは燃料が目立つが、化学肥料の生産等に使用されるエネルギーは場合によっては、直接の燃料以上である。肥料はチッソ、リン酸及びカリが主要な3要素で、他の要素も大切ではあるが、量としては少ないため無視する。世界の化学肥料の消費量は年々増加している。1970年から85年にかけては

ば直線的増加である。その両年の要素量の略値(単位100万ton)はチッソ; 32→70, リン酸; 20→34, カリ; 17→26である。しかし日本では1970年→85年の間にカリが若干増加の傾向がみられるが、チッソやリン酸は年によって大きな変動はあるが大略同一である。なお、堆肥などの有機質肥料の全チッソ肥料に対する割合は、この30年間あまり大きな変化はなく、要素量で5%前後である。

玄米100kgに対する肥料の必要量はチッソ、リン酸及びカリそれぞれ2.5, 1.0, 2.3kgと云われており、天然の供給量と、与えられた肥料の内、吸収されない量が等しいとも云われている。平成3年の水稲玄米の生産量は平年作の95%で、平均収量は470kg/10aであった。県によっては600kgに近い処もあり、600kgを目標とした場合、各肥料は15, 6, 13.8kgとなる。ここで、チッソ、リン酸及びカリの生産所要エネルギーはそれぞれ87.9, 26.4, 10.5MJ/kg<sup>6)</sup>であるとのデータを使用すれば、10a当たり600kgを目標として、所要エネルギーは1,622MJになる。

農薬の日本での使用量は、社会情勢を反映してか減少傾向にある。1987年以降は総出荷量で毎年5%前後の減少が見られる。農耕地での殺菌剤、殺虫剤、除草剤の使用量は1988年を1とすると、1991年の使用量は水田で、0.842、果樹で0.949、野菜で0.925と減少しているが、それ以外の花き、芝草、森林等では1.527と増加している。しかし、総量では0.888と減少し、1991年の総量は423万tonである。農業生産のエネルギーは主要成分と剤形によってかわるが、生産、製剤、運搬を含めた使用レベルで、米国のデータから大掴みに推定すると、殺菌剤、殺虫剤、除草剤それぞれ350, 300及び200MJ/kg位である。同一の統計資料ではないが、平成3年度の水稲向けの農薬出荷量269.9ktonを、水稲の作付け面積で除すと、10a当たり13.2kg使用したと推定できる。作物の種類によって殺虫剤、殺菌剤、及び除草剤を利用した比率は異なるが、平成元年の度全出荷量の比率、43.3%、26.4%及び30.4%を利用し、またそれぞれの有効成分量を考慮して所要エネルギーを推定すると、10a当たり960MJになる。

### 2.4 施設栽培におけるプラスチックの消費

トマトやキュウリ等の果菜類、一部の果樹、花き、種苗などでは施設で栽培することが多い。この場合統計表では、ガラス室、ハウス、トンネルに分けている。このほかマルチと称し、地温と水分の保持及び雑草防除のために、特に葉菜類の場合、畑地の上を薄いプラ

スチックフィルムで覆って栽培する事も多く行われている。平成3年の施設の面積は、ガラス室、ハウス、トンネル、それぞれ2,130, 4,502, 53,473haである。ハウスとトンネルのフィルムはビニルが最も多い。

プラスチックのハウスでは、外張りに加えて2層の天井カーテンやサイドカーテンを用いたり、或いは幼作物をトンネル状に覆う場合もある。10a当たりのフィルム使用量の試算例<sup>2)</sup>では、間口7.2m、長さ70mの単棟ハウス2棟(外張り; 0.2mm農業用ポリ塩化ビニルフィルム)、2層カーテン(0.05mm農業用ポリエチレンフィルム)、トンネル(0.05mm農業用ポリ塩化ビニルフィルム)、全面マルチ(0.03mm農業用ポリエチレンフィルム)で構成した場合、比重を考慮すると、農業用ポリ塩化ビニルを356.2kg、農業用ポリエチレンを173.7kg使用することになる。

この使用量は耐用年数に種々のケースがあるため、農業におけるフィルム以外をも含む廃プラスチックで見ると、1989年には年間野菜、花き、果樹の園芸で約149,649ton、稲作で8,389ton、畑作で16,662ton廃棄し、それ以外の4,620tonを加えると、約18万tonである。これらの処理法を見ると、1979年には再処理、埋立処理、焼却処理、その他がそれぞれ7.1, 13.8, 36.1, 43.0%であったが、1989年には、22.3, 21.6, 41.9, 14.2%で再処理と埋立処理が年々増加している。焼却処理は1985年までは増加傾向であったが、それ以後減少してきている。

## 2.5 エネルギー消費の現状

平成3年の農業白書<sup>5)</sup>によれば、農業部門に直接投入されたエネルギーは農業生産に直接消費されたものは約126PJと全産業の0.9%を占め、これに化学肥料や農業等の生産資材を生産するために用いられたエネルギーを加えた農業生産に関わるエネルギー投入量は193PJとなっている。過去15年間の農業に使用された石油と電力について示すと図-2、図-3のとおりである。1982年頃を底として年々直線的に増加してきている。この理由は同じく農林白書によれば、農業生産の高付加価値化等の動きを背景として施設面積が増加した野菜や、米麦の共同乾燥、青果物の共同選果等の農業サービス等の分野への増加が著しいとしている。

作物によって作業の方法が異なり、当然エネルギー消費の形も変わってくる。また地域によっても異なる。昭和63年度の場合、最も大きいのは野菜で、生産額1,000円当たりのエネルギー消費量は穀類や畜産で9.2MJ、野菜で28MJである。野菜の場合にはビニ

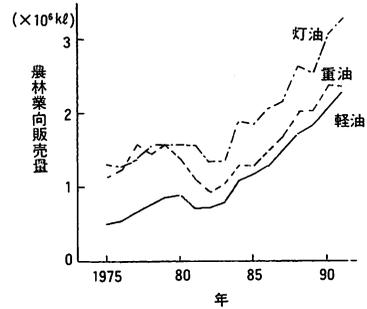


図-2 農林業向け石油製品販売量

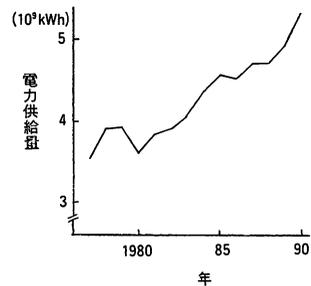


図-3 農業用電力供給量

ルフィルムや加温用燃料の費用が大きく影響していると考えられる。

穀物といもに限ってみれば、単位面積当たりの直接石油燃料による所要エネルギーは、水稻を1として、小麦、大豆、カンショが0.5、パレイショが0.7である。各作物についてその内容は表1のとおりである。水稻の場合では乾燥調整工程のエネルギーの利用が多い。また地域によっても異なり、北海道、岡山、熊本を比較すると、10a当たり1,650, 1,728, 1,628MJで統計では岡山が多く、耕うんに占める割合は岡山が他の2倍必要とし、北海道では秋期は低温のためか、乾燥に多くのエネルギーを必要としている。

前述の水稻10aに要する、労働、電力、化学肥料、農業のエネルギーは3,848MJになる。この値には農業機械生産や施設設置に要したエネルギーが含まれていないという欠陥があるが、エネルギーランニングコストの試算をした結果である。平成3年産水稻の都道府県別平均収量の最も多いのは長野県で、その値は玄米で582kg/10aで、全国平均の1.24倍である。1kgの玄米の持つエネルギーを14MJと仮定すれば、10a当たりの生産量は8.15GJとなる。日射量として長野県松本の水稲を生産する5~9月の平均的な値を求めると、2.6TJ/10aであり、生産量は日射量に対しては、0.31%の値である。なお、米国の事例では、トウモロコシ

表1 単位面積当たりエネルギー使用内訳

作物	耕起	単位 %			
		収穫脱穀	乾燥	その他	
水稲	12	15	41	32	
小麦	14	24	44	18	
大豆	24	28	18	30	
ばれいしょ	27	30	—	43	
かんしょ	19	19	—	62	

の総バイオマスで年間の総日射量に対する比率は0.5%、ジャガイモで0.4%、小麦で0.2%である<sup>6)</sup>。

### 3. 耕地の炭素収支<sup>2, 3)</sup>

エネルギーを考える際、最近は環境問題特に炭酸ガスが問題になる。ここで耕地に於ける炭素収支を見てみたい。植物の呼吸は気孔から取り入れた炭酸ガスを光合成によって固定し、酸素を放出するため炭酸ガスの低減に役立つとされている。ここで耕地が炭酸ガスの吸収源が放出源かは検討する必要がある。炭素は光合成によって大気から作物に固定され、呼吸によって大気に戻るもの、収穫物として利用された後大気に戻るもの、作物残渣として土壌中に入り大気に戻るものに分けられる。

作物に固定される炭素量を年間の単位面積当たり炭素量で表すと、一毛作の場合、水稲 $530\text{--}710\text{gCm}^{-2}\text{y}^{-1}$ 、コムギ $330\text{--}490\text{gCm}^{-2}\text{y}^{-1}$ 、トウモロコシ $620\text{--}930\text{gCm}^{-2}\text{y}^{-1}$ 、サツマイモ $540\text{--}690\text{gCm}^{-2}\text{y}^{-1}$ である。二毛作のデントコーン-イタリアンライグラスの場合 $1,640\text{gCm}^{-2}\text{y}^{-1}$ である。(二毛作；同じ耕地にほぼ1年間に2種類の作物を順次作付けること。デントコーン；飼料用とうもろこし、穀類として収穫する場合と、完熟前に茎葉ごと細断しサイロで醗酵させ多汁質飼料とする場合がある。イタリアンライグラス；イネ科の1年生牧草。)この外、鹿児島県の照葉樹林で $820\text{gCm}^{-2}\text{y}^{-1}$ 、千葉のマツ林で $630\text{gCm}^{-2}\text{y}^{-1}$ とのデータもある。

次に土壌から放出される炭酸ガスの量は温度、土壌中の有機物の量、耕地後日数或いは水分など条件によって大きく異なるが、耕地の場合 $200\text{--}1,000\text{mgCO}_2\text{m}^{-2}\text{hr}^{-1}$ である。例えば、2毛作のデントコーン-ライグラスの耕地で炭素放出量は1年間1平方メートルあたり $1,050\text{gC}$ である。

農作業によって各種資材から放出される炭酸ガスが求められている。燃料や電力によって放出される炭酸

ガス量の原単位は一般的であり省略するが、農業用資材1kgから放出される炭酸ガスの量(kg)はつぎのとおりである。チッソ肥料；0.73、炭酸カルシウム；0.44、殺虫剤；0.36、殺虫殺菌剤；0.09、殺菌剤；0.09、除草剤；0.21、農業用ポリ塩化ビニル；1.861、農業用ポリエチレンフィルム；3.136。種々の農作業について試算があるが水稲の場合、種子予措から乾燥調整までで、10a当たりの炭酸ガス発生量は72~100kgであり、乾燥における発生量が多い。

### 4. おわりに

農業にとっても省エネルギーは重要な課題である。しかし現実には労働生産性、生産費、高品質化、流通指向の品質等が重視され、エネルギー消費は増加しつつある。米国では土壌保全の立場から conservation farming が一般化してきている。エネルギー、水、土壌、その他の資源を保全し、生産を維持しようとするものである。これまで耕うんに際して、土壌を反転していたものを、前作物の残渣を土壌表面に残すようにして土壌を侵食から守っている。最も極端なものが不耕起播種性である。除草剤の使用量は増加するが、耕うんのエネルギーが大幅に削減される。一部の土壌を除いて、収量は下がらないという。日本の農水省でも不耕起田植えの研究を実施している。エネルギーを多用している穀物の乾燥については、三重大学の中川健治先生(現名誉教授)が太陽熱を利用した乾燥法について鋭意研究を進めておられたが、これを多少改善したような機械も市場に現れている。石油が安値安定のため、省エネルギーを忘れがちであるが、農業分野の省エネルギー技術の継承と開発は常に心がけて行きたい事項である。

### 引用文献

- 1) Pimentel, D. et al ; Food Production and the Energy Crisis. Science, vol. 182, pp443, 1973.
- 2) 農業機械学会；農業機械による環境保全機能向上のための調査研究(平成3年度), 1992.
- 3) 農業機械学会；環境保全機能向上のための農業生産技術一調査研究一(平成4年度), 1993.
- 4) 農水省統計情報部；ポケット農林水産統計平成5年版, 勸農林統計協会, 1993. なお, 旧年版も利用.
- 5) 農水省官房調査課；平成3年度農業の動向に関する年次報告, 1992.
- 6) Pimental, D ; Energy Inputs in Production Agriculture, Energy in Farm Production edited by R. C. Fluck, Chap. 2, pp13-29, ELSEVIER, 1992.