

■ 特 集 ■ 植物資源のエネルギー化

# エネルギー生産農業の生物学的基礎

## Biological Basis for Energy Production Agriculture

村 田 吉 男\*

Yoshio Murata

### 1. はじめに

有限で、地域的に偏在し、著しく供給の不安定な石油に代るエネルギー資源の一つとして、バイオマスが注目されている。バイオマスは太陽エネルギーと地球上の物質循環に基礎をもち、再生可能な点に最も大きな特長をもつが、その反面、生産に広い空間を必要とし、エネルギー密度が小さく、取扱いが不便であるなど、多くの欠点をもっている。これらの欠点を補う、経済的な手段を開発することが、バイオマス利用研究の中心的課題であり、日本でもすでにそのような研究が開始されている。しかし、広大な土地をもつアメリカにおいてさえ、“エネルギー生産農業”が成立するのは1990年代以後といわれており、農業生産のコストが著しく高いわが国で、果たしてこれが成立つかどうかには少なからぬ疑問がある。しかし他方、わが国は必要な1次エネルギー供給量の73%を海外の化石燃料に依存するばかりか、実質的な食糧自給率は文明国中最下位、40%を割る状態にあり、一旦、世界のエネルギー事情が変わると、この僅かな食糧の生産さえ不可能となるであろう。従って、わが国では食糧問題とエネルギー問題は二者択一の問題ではなく、安全保障上、何としてでも同時解決を要請されている問題である。本稿ではこの考え方に立ち、表題の面について若干の解説を加えた。

### 2. エネルギー生産農業の構成

バイオマスの含有するエネルギーは、いうまでもなく、すべて太陽光のエネルギーに由来するが、人類のこれまでのバイオマス利用は、図-1に示すように、食

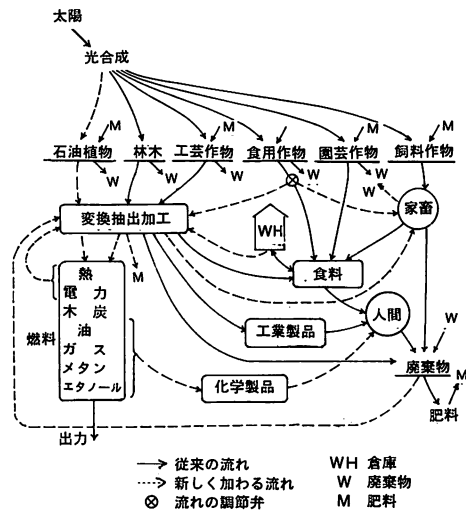


図-1 エネルギー生産農業におけるエネルギーと物質の流れ

用作物、園芸作物および工業作物による、直接的な食料生産と飼料作物一家畜を通しての、間接的な食料生産、および林木や工業作物による住居資材、衣料、紙その他の工業製品、および薪や炭の形での燃料供給にあった。しかし、取扱いが容易で価格も安い化石燃料の前に、薪炭はほとんど消滅し、工業作物の利用も、衣料やゴムなど、かなりのものが石油原料に置き換えられている。今後の行き方としては、Lipinsky<sup>1)</sup>が提案しているように、3つの基本的な方向がある。第1は図中に点線で示したように、“石油植物”の導入による高エネルギー燃料成分の採取利用である。第2は、林木や各種作物の収穫残渣や変換、抽出、加工過程の残渣を適当な方法で処理して反芻家畜の飼料に向け、それによって浮いた穀類やいも類をアルコール原料に廻す方向である。備蓄食糧も品質低下したものは同様

\*東京農業大学総合研究所教授

〒156 東京都世田谷区桜丘1-1-1

に燃料向けとする。そして第3は、農林産廃棄物、生活廃棄物および変換抽出加工過程廃棄物の熱分解あるいはメタン発酵による燃料化である。廃棄物の一部および処理残渣は肥料として各作物に与え、また燃料の一部は変換、加工過程のエネルギー源に利用する。飼料用穀類を毎年千数百万トンも輸入しているわが国の場合、第2の方向は上にあげただけでは実現が困難であるが、イネ以外の作物を栽培しにくい水田の20%以上、71万haを無理な転作あるいは休耕によって荒廃させている現状を改め、余分な水田全部に飼料用水稲を作付けすれば、実現可能となろう。すなわち、品質は劣るが多収で知られている、最近のインド型韓国品種や多系品種（多くの系統を混合したもの）を転作、休耕田に栽培すれば、最少限のコスト増で、現在の平均収量（5 t/ha）より40%高い7 t/haの収量をあげることにはそれほど困難でないと考えられる<sup>2)</sup>。収穫した7×71=497、約500万トンの米は非反芻家畜の飼料とし、ほぼ同量収穫される副産物のわらはは牛に与えて、浮いた穀物をアルコール原料に向けるか、あるいは情勢が許せば飼料米を直接アルコールに変えるのである。いずれの方法によっても、わが国の食糧供給と、エネルギー供給の両面において安全性を格段に高めることができる。

3. バイオマス資源量の推定

バイオマスを燃料として用いる場合、取扱いに便利な形へ変換する技術がある程度開発されれば、バイオマスの種類に対する選択性は小さくなり、量がおもな問題となってくる。しかも、バイオマスはその生産に広い空間を必要とするため、それぞれの地域ごとに資源量の見積りが必要となる。そして資源量の見積りは、再生可能というバイオマスの特長から、現在量ではなく純生産量に基づいて行なわねばならない。

そこでまず、全地球上における植物の純生産量をみると、生態学者は各種の生態系別に、表1のような数字を示している。年間の純生産量合計値は陸上で1,175億トン、海洋で550億トン、合計1,725億トンで、陸上全体の68%を占めているという。なお一時的な供給の調節に役立つ現存量は、陸上では年間純生産量の約16倍の1兆8,400億トンであるのに対し、海洋では僅か0.07倍の39億トンと見積られている。

さて、バイオマス単位重量当たりのエネルギー量を4 Kcal/gとすると、地球上の純生産のエネルギー総量は陸上 4.7×10<sup>17</sup>Kcal、海洋 2.2×10<sup>17</sup>Kcal、合計 6.9×

10<sup>17</sup>Kcal となり、これは全世界の年間エネルギー使用量（3×10<sup>20</sup>J）の約10倍に当たる量である<sup>4)</sup>。

それでは日本の場合はどうか。気候温和で雨量の多いわが国の場合、年間の純生産量はかなり多く、その値は次のように見積られている。すなわち、森林では<sup>5)</sup>

暖温帯常緑広葉樹林	20 t/ha
マツ林、スギ林	10~15 t/ha
常緑針葉樹林	10
冷温帯落葉広葉樹林	5~10 t/ha

他方、耕地では

1毛作田	9~14 t/ha
2毛作田	13~17 t/ha
畑地	6~16 t/ha

と推定される。そこで、年間の全国平均のha当たり純生産量を、森林12t、自然草地9t、耕地11t、と仮定して、それぞれの面積を乗ずると、全国の純生産量合計値は

$$(12 \times 2.487 + 9 \times 1.44 + 11 \times 1.57) \times 10^6 = 372 \times 10^6 \text{ t}$$

となる。そのエネルギー量は

$$372 \times 10^6 \times 4 \times 10^6 = 1.49 \times 10^{15} \text{ Kcal}$$

で、これは日本の年間エネルギー使用量 3.71×10<sup>15</sup> Kcal（1977年）の40%に相当する。従って、仮りにこのバイ

表1 地球上の植物の年間純生産量 (Whittaker and Likens<sup>3)</sup>による)

生態系	平均 t/ha/年	総量 109t/年
熱帯多雨林	22	37.4
熱帯季節林	16	12.0
温帯常緑林	13	6.5
温帯落葉林	12	8.4
亜寒帯林	8	9.6
疎林・低木林	7	6.0
サバンナ	9	13.5
温帯草原	6	5.4
ツンドラ・高原草地	1.4	1.1
砂漠・半砂漠低木林	0.9	1.6
真の砂漠	0.03	0.07
耕地	6.5	9.1
沼地・沼沢	30	6.0
湖沼・河川	4	0.8
陸地計	7.82	117.5
外洋	1.25	41.5
湧昇流域	5	0.2
大陸棚	3.6	9.6
附着藻類・サンゴ礁	25	1.6
入江	15	2.1
海洋計	1.55	55.0
地球全体	3.36	172.5

オマス生産量の1/3を燃料に向け、効率60%で燃料に転換できたとすると、わが国の全エネルギー需要量の8%を賄えることになる。日本の農業全体におけるエネルギー使用量が3%台である<sup>6)</sup>ことを考えると、これは少なくない量である。

4. バイオマス生産量の地域差

地球上の全生産量は表1からもわかるように、場所によって大きく異なる。その場合、純生産量の地域差に関与する、最も有力な要因は何であろうか。これについてLieth<sup>3)</sup>は次のような根拠から、それは年平均気温と年間降水量であると主張している。すなわち、地球上の各地53地点におけるデータから、気象的・地理的要因と植物の純生産量との関係を検討した結果、極端な降水量をもつ数地点を除くと各地の純生産量(g/m<sup>2</sup>/年)は年平均気温t(°C)を変数とする関数

$$Y = \frac{3000}{1 + \exp(1.315 - 0.119t)} \quad (g/m^2)$$

によってよく表わすことができ、反対に極端な年平均気温をもつ数地点を除外すると、降水量W(mm)を変数とする関数

$$Y = 3000 \{1 - \exp(-0.000664W)\}$$

によってよく表わされることを示した。

しかし、日本のように雨量が豊かな場合は、気温について、光合成の原動力である日射量の影響が大きいことは次の例から見ても明らかである。すなわち、秋田から福岡までの全国7カ所に分布する試験地で、それぞれの地域によく適した2品種を用い、よい圃場でほぼ最適と考えられる施肥量と管理の下に水稻を栽培したIBP(国際生物学事業計画)の“最大生長率試験”の結果によると<sup>7)</sup>、開花期以後の6週間の乾物増加量(登熟期に当たるこの期間中の乾物増加量、すなわち純生産量によって収量の大半が決定される)と、その時期の日射量との間には品種が異なり栽培法も同一でないにもかかわらず、次のように4年とも地域間で正の相関が認められた。

1967年	0.576*
1968年	0.378
1969年	0.641*
1970年	0.356
全体	0.440***

(\*5%レベル, \*\*\*0.1%レベルで有意)

この例では種は同一で、品種が異なっているが、地球を対象に生産量の地域差を考える場合は、種の問題

がからんでくる。それは、それぞれの地域には温度や水分条件に適応して生理生態的特性の全く異なる種が分布しているため、地域間の純生産量の差には気象条件の影響のみならず、種の生産力の違いも含まれるからである。そこで次に、種自身のもつ潜在生産力を考えてみよう。

5. 種の潜在生産力

種の生産力を比較する場合、2つの立場がある。第1は種の適応性の違いを無視して同一の環境下で比較を行なうもの、第2はそれぞれの種にとって最適な環境下で比較するものである。同一作物の品種間のように、気象適応性その他の基本的特性にあまり大きな違いがない場合は第1の立場で充分であろう。しかし、基本的特性が著しく異なる種間の潜在生産力の比較では第2の立場がより多くの合理性をもつと考えられる。そこで、世界各地で、よい栽培条件の下でいろいろな作物について得られた純生産量の測定値のうち、種ごとの最高値をとって比較すれば、それがそのまま第2の立場における種の潜在生産力の比較になると考えることができる。このような意味で集めたのが図-2の縦軸の数字である。

図によると、年間の純生産量(Pn, t/ha)は熱帯ブエルトリコにおけるC<sub>4</sub>型の牧草ネピアグラスの85.9トンから、日本のダイズの9.4トンに至るまで、10倍に近い開きがある。しかし、この開きのかなりの部分は実はそれぞれの地域における年間の生育可能日数の差に

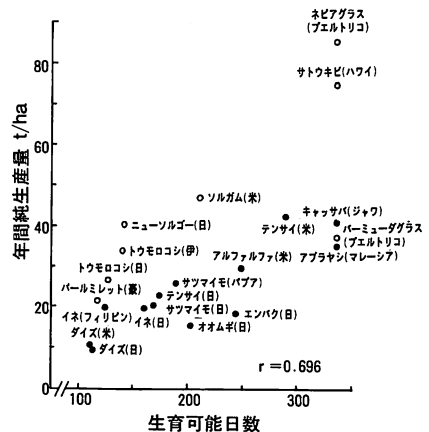


図-2 世界各地における作物の年間純生産量の高位値と年間生育可能日数との関係

● C<sub>3</sub> 植物 ○ C<sub>4</sub> 植物

よる。それは、すでに図-2に示してあるように、横軸に年間生育可能日数をとり、縦軸の年間純生産量との関係を見れば、両者の間に密接な相関 ( $r = 0.667, 1\%$  レベルで有意) が認められるからである。

そこで次に、生育可能日数の影響を除くため、Pnを生育可能日数で除して1日、1m<sup>2</sup>当たりの純生産量(平均CGR, Crop growth rate)を求めてみると、表2に示すように、種間差は著しく縮小するが、なお最大のニューソルゴーと最小のオオムギとの間には4倍近い開きがみられる。この開きは年間の純生産量の示すものよりさらに基本的な生産力の差を示すものと考えられるが、これをC<sub>3</sub>型かC<sub>4</sub>型かという、光合成メカニズムの違いを念頭において検討してみると、表2から興味ある事実が認められる。すなわち、平均CGRが18g/m<sup>2</sup>/日以上のもつのは全部C<sub>4</sub>植物であるのに対し、それ以下の値をもつのはパーミュダグラス(10.2g/m<sup>2</sup>/日)を唯一の例外としてあとは、全部C<sub>3</sub>植物で占められているのである。一般にC<sub>4</sub>植物は高温・乾燥環境に、C<sub>3</sub>植物はその他の環境に適応していることは広く知られた事実であるが、それぞれの種が最も好適な環境下に栽培された場合に発揮される最大生産力、すなわち潜在生産力は一般にC<sub>3</sub>種よりC<sub>4</sub>種が高いことを表2は示唆している。

6. 種の短期間の最大生産力と葉の光合成能力

表2 年間純生産の高位値が得られたときの全生育期間平均の1日・1m<sup>2</sup>当たりの純生産量(平均CGR)

作物	平均CGR g/m <sup>2</sup> /日	CO <sub>2</sub> 固定系
ニューソルゴー	28.4	C <sub>4</sub>
トウモロコシ(伊)	24.3	C <sub>4</sub>
”(日)	20.7	C <sub>4</sub>
ネピアグラス	23.5	C <sub>4</sub>
ソルガム	22.2	C <sub>4</sub>
サトウキビ	20.5	C <sub>4</sub>
パールミレット	18.5	C <sub>4</sub>
イネ(フィリピン)	16.0	C <sub>3</sub>
”(日)	12.2	C <sub>3</sub>
テンサイ(米)	14.6	C <sub>3</sub>
”(日)	13.1	C <sub>3</sub>
アルファルファ	14.1	C <sub>3</sub>
サツマイモ(パプア)	13.8	C <sub>3</sub>
”(日)	12.1	C <sub>3</sub>
キャツサバ	11.2	C <sub>3</sub>
パーミュダグラス	10.2	C <sub>4</sub>
ダイズ(米)	9.5	C <sub>3</sub>
”(日)	8.3	C <sub>3</sub>
エンバク	7.6	C <sub>3</sub>
オオムギ	7.5	C <sub>3</sub>

さて、潜在生産力の表示としては前述の平均CGRのほか、全生育期間のうちでCGRが最大となる時期、例えばイネでは開花直前の時期のCGRの値、すなわちmax CGRがある。平均CGRが“平均出力”を示すのに対し、これは“瞬間最大出力”を示すものといえよう。そこで、これまでいろいろな種について世界各国で報告された値のうちで種毎にmax CGRの高位値を集めてみた(これは図-1の純生産の高位値の得られた場合とは必ずしも一致しない)。図-3の縦軸に示したように、ここでも1, 2の例外はあるが、平均CGRの場合と同様に、一般にC<sub>4</sub>種は高いmax CGRを示し、C<sub>3</sub>種は低い値を示すことが認められる。なお、図には表示していないが、沖縄において密植したサトウキビで60.2g/m<sup>2</sup>/日という、恐らく世界最高と思われるmax CGR値が、文部省の「エネルギー特別研究」の「高エネルギー植物」研究グループによって、昨年得られている(宮里・野瀬、未発表)。

さて、このmax CGRの値とは別に、これまでいろいろな種について、自然条件の下で測られた葉面当たり最大光合成能力(Po・CO<sub>2</sub>濃度300~350ppm, 飽和光, 最適温度条件下で測定した、みかけの光合成速度, mg CO<sub>2</sub>/dm<sup>2</sup>葉面/hr)の値が報告されている。そのうち図-3の縦軸に示したmax CGRのえられた条件に近い条件の下で得られたと思われるPoの値を選び、それを横軸にとってmax CGRとの相関をみた。それが実は図-3であるが、図のように、両者の間には極めて興味深い関係が認められる。すなわち、両者の間にはC<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>グループ別にかなり高い相関が認められるが、両グループをこみにしても密接な相関があり、その関係は図のような1つの放物線にほぼ適合するように思われる。上述のように、Poの値とmax CGRの値とは必ずしも同一の個体あるいは場所で得られたものではないので断

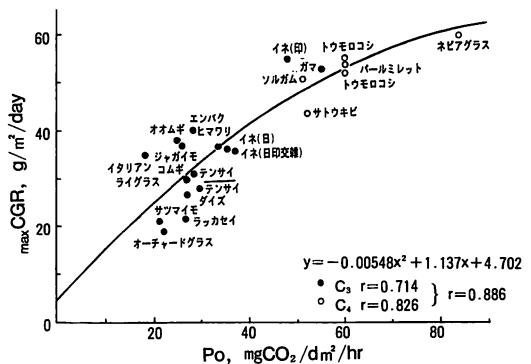


図-3 世界各地でえられた作物のmax CGRの高位値と葉面当たり最大光合成能力(Po)との関係

定的なことは言えないが、図-3は葉面当たりの光合成能力が、C<sub>3</sub>、C<sub>4</sub>の違いを含めた、種の潜在生産力に関与する、最も重要な要因であることを示唆するものではないかと思われる。圃場における作物個体群のmaxCGRに関与する要因には、葉面当たり光合成能力のほか、全葉面積(LAI)、受光態勢、呼吸量などがあることが、多くの研究結果から知られているが、そのうち種間差を規定するものとしては、光合成能力が最も重要な要因である可能性が高いと言ってよいであろう。

7. 日射エネルギー利用効率

すでに度々述べたように、バイオマス生産の原動力は太陽光のエネルギーにある。それでは、自然条件下の作物個体群は、理論的にみて、最大どの位の効率で日射エネルギーを利用しうるのであろうか。また実際の場合の効率はどの程度の値であるのか、これらのことについて次に説明したい。

さて、光合成の全反応式：

$CO_2 + H_2O + \text{光エネルギー (115Kcal)} \rightarrow (CH_2O) + O_2$   
 において、まず1モルのCO<sub>2</sub>の還元には、8光子が必要という、8光子説に従うこととし、日射エネルギーのうち光合成に有効な波長域(PAR)における1光子の平均エネルギー含量を50Kcalとすると、可視光のみを用いた場合の光合成メカニズムのエネルギー転換効率(E<sub>c</sub>)は

$$E_c = \frac{(CH_2O) \text{ 1モルの含有する化学エネルギー量}}{CO_2 \text{ 1モル固定に必要なPARエネルギー量}} = \frac{114}{50 \times 8} = 0.285$$

となる。次に地表での全短波放射に占めるPARの割合を50%、作物個体群によるPAR吸収率の最大値を90%とし、固定された炭水化物のうち、暗呼吸によるロスを仮りにC<sub>3</sub>種21%、C<sub>4</sub>種32%、光呼吸によるロスをC<sub>3</sub>種29%、C<sub>4</sub>種0%とすると<sup>8)</sup>、純生産に対する日射エネルギー利用効率の理論的最高値(E<sub>ut</sub>)は、

C<sub>3</sub>植物では

$$E_{ut} = 100 \times 0.50 \times 0.90 \times 0.285 (1 - 0.21 - 0.29) = 6.4\%$$

C<sub>4</sub>植物では

$$E_{ut} = 100 \times 0.50 \times 0.90 \times 0.285 (1 - 0.32) = 8.7\%$$

となる。すなわちC<sub>4</sub>植物でも10%に達しないのである。しかし、これは呼吸を差引いた効率であるから、植物自らが光合成器官というエネルギー捕捉転換装置を作り、それを維持するコストも差引かれている。しかも食糧という貴重な最終製品が得られるのであるから、

全体としての効率は必ずしも低いとはいえない。

さて、図-3のmaxCGRが得られたときの実際の日射エネルギー利用効率(E<sub>u</sub>)の値が図-4の縦軸に与えてあるが、これらは実際の圃場でえられた最高値を示すものである。その値はC<sub>4</sub>種で6.6~2.9%、C<sub>3</sub>種で4.4~2.8%の範囲にある。C<sub>4</sub>種中maxCGRの最高値を与えたサトウキビはE<sub>u</sub>値も最高の6.6%で、それは理論的最高値の6.6/8.7×100=76%に当たる。C<sub>3</sub>種のうちではダイズが最高のE<sub>u</sub>値を示したが、それは理論値の4.4/6.4×100=69%に当たり、実際の最高値はこれらの例からみると理論的最高値の70~80%程度であることがわかる。

さて、植物の葉の光合成には光飽和という現象がある。特にC<sub>3</sub>種ではそれが著しいが、そのためE<sub>u</sub>の値は同じ個体群でもその時の日射条件によって変ることになる。従ってE<sub>u</sub>の値の正確な種間比較はそのままではできない。その時の日射条件との関係において比較しなければならない。図-4はその意味で、日射レベルを横軸にとってE<sub>u</sub>値を比較したものである。

図によると、インド稲を例外として、C<sub>3</sub>種とC<sub>4</sub>種はそれぞれ別の傾向線にのっているように思われる。従って、同一日射レベルで比較しても、C<sub>4</sub>種はC<sub>3</sub>種に比べて日射利用効率が一般に高いといえるようである。これには、C<sub>4</sub>種が高い光合成能力をもつことが第1に貢献していると思われるが、それには光呼吸のないことも含まれている。

以上のE<sub>u</sub>の値は、作物個体群が最もよく繁茂した状態の下での日射利用効率であるが、全生育期間の平均利用効率(E<sub>u</sub>)はこれより遙かに小さくなる。若い作物では全体の葉面積が小さいため、日射量の大きな部

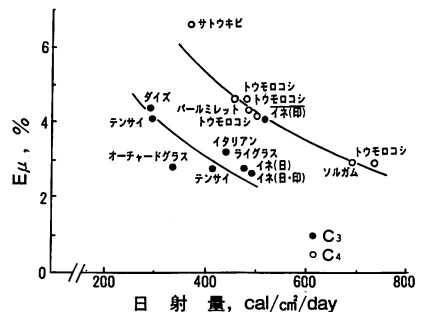


図-4 世界各地でmaxCGRの高位値がえられた時の日射エネルギー利用効率(E<sub>u</sub>)と日射量との関係

表3 IBPの試験における全生育期間平均の日射利用率(Eu)と全国平均の推定値

作物	全試験地3年間平均値	全国平均推定値
トウモロコシ	1.28%	0.46%
イネ	1.26	0.92
テンサイ	1.37	1.09
ダイズ	0.68	0.38

分が全く植物に吸収されずに地面へ失われてしまうからである。さきに引用したIBPの試験の場合、Euの値は全試験地、3年間の平均で表3のようであった。これはかなりよい条件で作物栽培が行なわれた場合であるが、そのEuは1.37~0.68%の値を示している。これより遙かに条件の悪い、実際農家の場合はどの程度の効率を示すかを推定したのが表3の右の数字である。これは収量の統計値を基にしてそれぞれの種について推定したものである。これによると、比較的効率のよいイネ、テンサイの場合で1%程度、トウモロコシやダイズでは0.5%以下のものである。

地球全体の場合、利用効率の平均値はさらに低く、陸地で0.3%、海洋で0.06%、全体平均で0.13%と推定されている<sup>3)</sup>。

8. おもなエネルギー作物の多収記録とエネルギー収量

次に現在、食用作物、工芸作物などとして栽培されている作物のうち、エネルギー作物としての可能性を比較するため、表4に世界における経済収量の多収記録と高エネルギー成分収量カロリー、それと対比して日本および世界の平均収量、日本における平均高エネルギー成分収量カロリー、収量部分に対する廃棄物(副産物を含む)の比などを示した。

表によれば、成分収量からみた世界記録はサトウキビが最高で、いも類がこれに次ぎ、穀類がその次ぎという順序になっている。穀類ではトウモロコシが並外れて高いが、ソルガムも注目してよい。またヤシ類は木本ではあるがサトウキビに次ぎ高い値を示している。このような経済収量には、すでに述べた種の潜在生産力と生育可能日数のほか、さらに全体の乾物生産量(純生産量)のうち収量部分の占める割合、すなわち収穫係数(Harvest Index)が重要な要因となる。い

表4 作物の経済収量の多収記録、平均収量高エネルギー成分収量および廃棄部分/収量部分比

作物	世界多収記録 <sup>1)</sup> , 成分 <sup>3)</sup>		平均収量 <sup>2)</sup> t/ha/年 日本(世界)	高エネルギー成分 <sup>3)</sup> (日本)			廃棄部/収量部 重量比
	t/ha/年(場所, 年)	10 <sup>6</sup> Kcal		成分	含量(%)	10 <sup>6</sup> Kcal	
トウモロコシ	21.2(イリノイ, 1975)	63	2.56(2.99)	澱粉	72	7.6	1.1~1.6
	9.9(長野, 1969)	29					
ソルガム	16.5(インドアナ, 1959)	49	—(1.27)	澱粉	72	—	1.4~1.5
	14.5(ワシントン, 1966)	40					
コムギ	10.1(岩手, 1962)	28	2.97(1.73)	澱粉	67	8.1	1.2~2.6
	10.1(岩手, 1962)	28					
イネ	15.5(ワシントン, 1975)	46	4.73(1.92)	澱粉	73	14.2	0.8~1.3
	10.5(山形, 1961)	31					
サトウキビ	250(オーストラリア, 1970)	133	6 0.5(55.4)	蔗糖	13	3 2.2	3.3~4.0 (対蔗糖)
テンサイ	115(カリフォルニア)	71	48.3(3 1.1)	蔗糖	15	2 9.6	1.0~1.5 (対蔗糖)
	79(札幌, 1971)	48					
ナタネ	5.2(秋田, 1967)	21	1.69(0.87)	油	43	6.8	3.0~4.0
サツマイモ	65(鹿児島, 1970)	75	2 0.9(8.7)	澱粉	28	2 3.7	0.2~0.3
ジャガイモ	95(カリフォルニア, 1969)	66	2 1.8(14.4)	澱粉	17	2 3.6	0.2~0.3
キャッサバ	45(コロンビア, 1980)	56	—(8.8)	澱粉	30	(1 1.1)	0.3~1.0
サゴヤシ	25(マレーシア, 1976)	103	—(5*)	澱粉	100	(20*)	1.1 (対澱粉)
アブラヤシ	12.5(マレーシア, 1973)	110	—(2.5*)	オイル	100	(22*)	2.2 (対オイル)

1) 下段は日本の高位値、トウモロコシ、ソルガム、コムギ、イネ、ナタネは種実(国乾)、イネは玄米、サトウキビは蔗糖(生重)、テンサイは根部(生重)、サツマイモ、キャッサバは塊根(生重)、ジャガイモは塊茎(生重)サゴヤシは澱粉、アブラヤシはオイル  
 2) 日本は農林統計1975~1979、世界はFAO 1975~1979、平均  
 3) 熱量換算は澱粉、蔗糖 4.1Kcal/g、油 9.35Kcal/g(但しパーラムオイル 8.8Kcal/g)  
 \* 世界記録の1/5を平均収量と仮定した場合の値

も類の収量が高いのはその高い収穫係数に負うところが大きい。

日本の平均収量の場合も傾向は世界記録の場合とほぼ一致して、糖料作物が最も高く、ついでいも類、穀類の順となっている。穀類ではイネの高いのが注目される。廃棄物の割合は収穫係数とは逆の表示であるがサトウキビ、ナタネ、アブラヤシが高く、バイオマスとしての多面的利用の余地が大きいことを示す。

以上のことから、耕地におけるエネルギー作物としてはサトウキビおよびいも類が最も有望であるといえよう。しかし、日本ではすでに述べたような考えから、イネも有望であり、また2毛作によって冬の豊かな日射量を利用する意味から麦類およびナタネが有望と考えられる。このほか、飼料作物のクワイモは英国で20t/haの純生産の記録があり、そのイヌリンの利用が考えられ、油料作物のヒマワリは種子収量が世界平均で11.6t/haあり、高い生産力をもっている。その他幾つかの野草にも有望なものがあるが、目下まだ資料が乏しいのでここでは割愛した。

## 9. おわりに

エネルギー生産農業を日本で成立たせるとしたら、どんな方向でどんな構造をもつべきか、その実現にはどんな条件が必要であるか、これらの問いに見通しを

つけてからすべては始まるというのが物事の順序であろう。しかし、それをするにも現在われわれのもつ知識はあまりに乏しい。今後の研究の発展と活発な論議ならびにすぐれた発想の出現を期待して止まない。

## 参考文献

- 1) Lipinsky, E. S. : Science, 199, 644 (1978)
- 2) 秋田重誠 : 農業技術 35, 481 (1980)
- 3) Lieth, H. and R. H. Whittaker (ed) : Primary Productivity of the Biosphere, Sprenger, pp. 305 (1975)
- 4) Hall, D. O. (ed) : Biomass for Energy, UK-ISES (速水・江柄・佐々木監訳 : バイオマス・エネルギー, 学会出版センター, pp. 131 (1980)
- 5) Cooper, J. P. (ed) : Productivity in Different Environments, Cambridge Univ. Press, P.5, (1975)
- 6) 木谷収 : 補助エネルギー変換利用技術に係る研究動向委託調査報告書, 農林水産技術情報協会, P. 1 (1979)
- 7) JIBP Local Productivity Group: Report 4 for Level I Experiments, JIBP/Photosynthesis, Japanese Nat. Subcommittee for IBP/PP (1972)
- 8) 宮地重遠・村田吉男 (編) : 光合成と物質生産, 理工学社, P. 387 (1980)

