

エネルギー効率と時間効率  
～2つの効率のどちらを優先すべきか～

近藤 恭彦

## エネルギー効率と時間効率 ～2つの効率のどちらを優先すべきか～

近藤 恭彦\*

### 【要旨】

「効率」という言葉にはいくつかの意味があるが、よく使われる代表的な「効率」には「エネルギー効率」と「時間効率」がある。この2種類の「効率」を両極端な燃料を用いるガソリンエンジンと人力（ジンリキ：炭水化物がエネルギー源）について試算し、比較検討した。当然のことながら、ガソリンエンジンの時間効率は非常に良いが、エネルギー効率は人力に遠く及ばない、と言う試算結果となった。

この2つの「効率」はトレードオフの関係にある。今日の自由競争社会に於いては、「時間効率」が極端に重要視されているが、この「時間効率」は「持続可能性」ともトレードオフの関係にある。「時間効率」を追求している限り、持続可能な社会へのシフトは無理であると考えられる。そのため、「時間効率よりも、エネルギー効率に重きをシフトしなければならない」と言う持論を展開しようと考えていた。しかし、2つの効率を農業に関して試算してみると、時間効率の高いガソリン（石油）を燃料とする農業機械を使わなければ、現代の人口を支える農業は成り立たず、多大なる食料不足を招くことが分かった。

これは大きなジレンマである。石油はやがて枯渇する。「再生可能エネルギー」と呼ばれるものも、現在の大量生産、大量消費のエネルギーは全く賄い切れていないし別の問題もあるのが現状である。それでも持続可能な社会へのシフトを目指すのであれば、「エネルギー効率」のほうを重視すべきである。そして、人力も、再生可能な良質なエネルギーの一つとして、昔のように活用すべきである。

---

\* 会津大学短期大学部非常勤講師

## 1 序：2つの効率

「効率」という概念に対して人が抱くイメージは、さまざまである。

「熱効率」、「発電効率」という場合の「効率」は「エネルギー効率」である。

「エネルギー効率」とは、投入されたエネルギーに対して、仕事をするエネルギーに変換される割合の事である。この言葉はまた、「(自動車等の)燃費」のように、「同じ単位あたりの燃料でどれだけ仕事ができるか」という意味でも使われる。

これに対して、「時間効率」と呼ばれる「効率」は、「単位時間内にできる仕事の量」の意味で、「同じ仕事をするのに要する時間」とも言い換えられる。

以上の2つの意味での「効率」、すなわち I. エネルギー効率 と II. 時間効率 について「ガソリンエンジン」と「人力(ジンリキ：人体は「炭水化物のエンジン」と考えることが出来る。)」に関して試算し比較・検討した。

具体的には、通勤・通学や旅行などのような場所の移動と、稲作農業の田植えに関して、この2つの効率を試算して比較、検討した。

この2種類の「効率」という概念は、時と場合に応じてどちらも頻繁に使われているが、しばしばトレードオフの関係にある。すなわち、エネルギー効率を追求すると時間効率が悪くなり、逆に時間効率を追求するとエネルギー効率は悪くなる傾向にあり、負の相関関係があると考えられる。

## 2 試算に用いるエネルギーの単位、仕事率の値と、有効数字について

2つの効率を具体例で比べるにあたり、使用するエネルギーの単位と有効数字、仕事率(単位時間当たりのエネルギー消費量)と、エネルギーの換算に関して、適切な値を特定する。また、必要な有効数字の桁数についても考察する。

### 2.1 エネルギーの単位と有効数字

ここでは、石油(ガソリン)の発熱量や、体の中で炭水化物を燃やして活動のエネルギーとする人力を考えるので、エネルギーの単位としては、カロリー [cal] を用いることとする。

同じ仕事率でも、出典によって数値に違いが出るが、その差は大きくとも2倍以内である。ガソリンエンジンと人力を比較する場合、同じ仕事をするのに要するエネルギーと時間は、何倍もの大きな差が出る事は明らかである。よって有効数字は1桁でも十分であると考えられる。細かいところまでこだわる必要はないので、使用する有効数字は1桁か2桁とする。

エネルギーのジュール [J] とカロリー [cal] の変換は、確定している値として有効数字2桁で  $1\text{J} \doteq 0.24\text{cal}$ 、 $1\text{cal} \doteq 4.2\text{J}$  を用いる。

### 2.2 人力

人力、すなわち、人の労力のエネルギーを特定するのは難しい。年齢差、性差などの個人差と言う意味もあるが、その意味での「個別の差」は、人で無くともどんな機械を使った場合でも起こる。それとは別に、人力は石油や電力による仕事の消費エネルギーに比して桁違いに小さいので、現代のエネルギー統計では無視されている。そして、人は生物として、仕事や活動をしなくても、眠っている間でも基礎代謝でエネルギーを使っている。ゆえに仕事に使った分のエネルギーを明確に区別することは難しい。更に人は運動することが必要であり、人力で仕事をすることは、「エネルギーの消費」とばかりは言えず、健康の

為のメリットも大きい。ここでは、仕事中に消費したエネルギー（カロリー）から基礎代謝相当のエネルギーを差し引いた値を、人力による消費エネルギーとして計算することとする。

体重は70kgの人で試算する。徒歩の場合、荷物と合わせて80kgとして試算する。自転車移動の場合は、自転車と荷物の重量を合わせて20kgとし、体重と合わせて90kgとして試算する。

### 2. 3 ガソリンの燃焼発熱量

レギュラーガソリンの発熱量は、33.3MJ/lである。カロリーに換算すると

$$33.3\text{MJ/l} \times 0.24\text{cal/J} \div 8.0 \text{ Mcal/l} = 8,000\text{kcal/l}$$

即ち、ガソリン1リットルが燃焼すると、8,000キロカロリーの熱エネルギーを発する（ものとする）。

## 3 移動の効率

同じ道のをガソリンエンジンの自動車で移動する場合と、人力による自転車、徒歩で移動する場合を比べる。

### 3. 1 15km 移動の場合

ある市町村から、周辺の市町村に行く距離として15kmと言う距離を想定した。

通勤、通学（高校生など）でこのくらいの距離を毎日通っている人は多いと考えられる。

我が家から会津大学短期大学部までの通勤距離も丁度このくらいである。

#### 3. 1. 1 自動車（ガソリン車）

信号待ちなども考え、時間は30分かかるものとし、燃費を15km/lとすると、ガソリンの消費量は1lとなる。この場合消費エネルギーは

$$8,000\text{kcal/l} \times 1\text{l} = 8,000\text{kcal}$$

#### 3. 1. 2 自転車

自転車の重量と荷物と体重を合わせて90kgの人が、平地で自転車を漕いだときの消費エネルギー（基礎代謝を除いて）は、速度によって表1のようになる。

表1 自転車で15kmを走る場合の平均速度と時間、消費エネルギー

平均速度	A. 移動時間	B. 1時間あたり消費エネルギー	C. 消費エネルギー (A×B)
10km/h	90分≒1.5h	350 kcal/h	530 kcal
15km/h	60分=1h	540 kcal/h	540 kcal
18km/h	50分≒0.8h	650 kcal/h	520 kcal
23m/h	40分≒0.65h	900 kcal/h	580 kcal

※表1の、C列の消費エネルギーの差は誤差の範囲で、有意の差はないであろう。自転車を漕ぐスピードが増せば、時間は短くて済むが、時間当たりの消費カロリーが大きくなる。その結果、消費エネルギーは、速度にはあまり影響されず、概ね距離で決まる事がわかる。

### 3.1.3 徒歩

体重と荷物を合わせて合計 80kg の人が平地を歩く場合の消費エネルギー（基礎代謝を除いて）は、速度によって表 2 のようになる。

表 2 徒歩で 15km を走る場合の平均速度と時間、消費エネルギー

平均速度	A 移動時間	B 1時間あたり消費エネルギー	C 消費エネルギー (A×B)
4.5km/h	200 分≒3.3h	280 kcal/h	920 kcal
5.0km/h	180 分=3.0h	300 kcal/h	900 kcal
5.6km/h	160 分≒2.7h	360 kcal/h	970 kcal

※表 2 の徒歩による消費エネルギーも、自転車の場合と同様に、概ね距離で決まり、速度による有意の違いはないであろうことがわかる。

以上をまとめる。（自転車は 18km/h、徒歩は 5.6km/h の場合の値とした。）

表 3 15km を移動する場合の 2 つの効率

	A 移動時間	C 消費エネルギー	D 合算効率 (A×B)
自動車	30min=0.5h	8,000 kcal	4,000 kcal・h
自転車	50min≒0.8h	520 kcal	450 kcal・h
徒歩	160min≒2.7h	970 kcal	2,600 kcal・h

※合算効率は、著者が独自に定義した量であり、一般的なものではない。

### 3.1.4 合算効率について

時間と消費エネルギーは次元の違う物理量であるので、その 2 つを合わせた評価は難しいものがある。この場合、評価として、次元の違うそれぞれの量を公平に扱うのであれば、それぞれの量を掛け合わせる（評価の仕方によっては逆数を掛け合わせる）のが理に適うと考えられる。ただし、この例では、時間も消費エネルギーも小さいほうが優れていると言えるので、その積である合算効率も小さいほうが優れていると考える。

合算効率の値を、表 3 の D の列に記した。文明の利器である自動車を使った場合が最も高い（悪い）値が出ている。これは、自動車を使えば、時間効率は良くなるが、その良くなった分以上に、エネルギー効率が悪くなるからである。この評価方法では、人力のほうが優れているという事になる。そして、同じ人力でも自転車のほうが、徒歩よりも時間効率もエネルギー効率も良いので、当然合算効率は良い。これは素晴らしい事である。

※余談であるが、陸上競技などに 3 種競技、5 種競技、10 種競技などの複合競技がある。これらの総合順位はそれぞれの種目で得点が与えられて、その得点の合計で競われる。しかし、その方法は、理に適っているとは思えない。何故なら次元が違う競技を同じ得点で評価して和を求めているからである。それはあたかも身長と体重を足すようなものである。これをもっと理に適った評価にするのであれば、各記録の

積で評価すべきである。値が高いほど評価が高い競技、例えば走り幅跳びのように距離が大きいほど評価が高い競技で、その値を掛けるとすれば、100m 走のように、タイムが短いほど評価が高い競技では、タイムの逆数を掛ける。このように合算した総合評価が、次元の違う競技の総合評価方法としては理に合っていると考えられる。

### 3. 1. 5 人力（自転車、徒歩）と自動車の比較

表3より、人力の自転車の場合、自動車に比べ、移動時間は2倍程度となった。一方、消費エネルギーは10分の1以下である。もっと短距離で、会津若松市中心部のような市街地を走る場合、自転車と自動車の移動時間はあまり変わらなくなるのは容易に予測が着く。そして、消費エネルギーは15kmの道のりの試算の場合と同様に10倍以上の大きな差がでる事も、試算せずとも明らかであろう。

更に徒歩と自動車を比べる。表3より、徒歩の移動時間は自動車の移動時間の5~6倍であるが、消費エネルギーはやはり10分の1程度になる。つまり、自転車でも、徒歩でも、人力しか使わない場合には、自動車での移動に比べ、時間は数倍かかるが、消費エネルギーは10分の1レベルになるので合算効率は勝っている。

### 3. 1. 6 自転車と徒歩の比較

表3より徒歩は自転車の3倍の移動時間がかかり、消費エネルギーも1.5倍である。同じ距離なら自転車に乗るよりも徒歩のほうが疲れることから、消費エネルギーも徒歩のほうが大きいことを実感できる。徒歩と比べて自転車の素晴らしいところは、自転車の分だけ重量が重いのににもかかわらず、より短い時間で、消費エネルギーも小さく移動できるという事である。即ち、時間効率もエネルギー効率も自転車が勝っている。この場合、時間効率とエネルギー効率は、トレードオフの関係になっていないのである。以上より、自転車は、科学技術として理想形であると考え得る。

## 3. 2 100km 移動の場合

さらに長距離の移動の場合どうなるかを考えてみる。何故なら距離が長くなるほど、自動車が有利になるからである。一般に自動車は、長距離のほうが燃費は良くなり、スピードも出せ、平均速度も増す。一方、自転車や徒歩のような人力の場合、距離がある程度以上長くなると、疲れて平均速度も落ちてくる。

長距離としての移動距離を100kmとして、2つの効率を比べてみる。100kmは、だいたい会津若松市から新潟市までの道のりである。

### 3. 2. 1 自動車（一般条件）

一般道100kmを普通に走る場合、道が混んでいないとして、2時間で行けるものとする。また、15kmの移動よりも燃費が良いと考え16km/ℓとする。この時、消費ガソリンは、 $100\text{km} \div 16\text{km}/\ell = 6.25\ell$ だから、消費エネルギーは  $8,000\text{kcal}/\ell \times 6.25\ell = 50,000\text{kcal}$

### 3. 2. 2 自動車（好条件）

自動車での移動を非常に理想的な好条件の元で考えてみる。渋滞もなく、最初から最後まで高速道路をスムーズに、平均時速100km/hで走るものとする、要する時間は1時間である。燃費のいいハイブリ

ッド車（外部からの電力の投入はないので、広義のガソリン車とみなせる。）でスムーズに移動すると  
して、燃費を良く見積もって  $25 \text{ km/l}$  とすると、 $100 \text{ km}$  走行する場合のガソリンの消費量は、  
 $100 \text{ km} \div 25 \text{ km/l} = 4 \text{ l}$  であるから、  
消費エネルギーは  $8,000 \text{ kcal/l} \times 4 \text{ l} = 32,000 \text{ kcal}$  である。

### 3. 2. 3 自転車

$100 \text{ km}$  の道のりは、自転車で休憩なしで走るのはきつい。休憩時間も考慮して、平均時速を  $10 \text{ km/h}$  とす  
れば、余裕がでる。この場合時間は  $100 \text{ km} \div 10 \text{ km/h} = 10$  時間。

荷物、自転車と合わせて  $90 \text{ kg}$  の人の消費エネルギーは、表 1 の B. 時間当たり消費エネルギー  $350 \text{ kcal/h}$   
を用いて

$$350 \text{ kcal/h} \times 10 \text{ h} = 3,500 \text{ kcal}$$

### 3. 2. 4 徒歩

$15 \text{ km}$  の時よりも遅いペースとして  $5 \text{ km/h}$  と仮定する。 $100 \text{ km}$  歩く時間は  $20$  時間である。（途中宿泊  
して、1泊2日か2泊3日であろう。）

荷物と合わせて体重  $80 \text{ kg}$  の人の消費エネルギーは、表 2 の B 時間当たり消費エネルギー  $300 \text{ kcal/h}$   
を用いて

$$300 \text{ kcal/h} \times 20 \text{ h} = 6,000 \text{ kcal}$$

以上をまとめると以下の表のようになる。

表 4 100km 移動する場合の 2 つの効率

	A 移動時間	C 消費エネルギー	D 合算効率 (A×C)
自動車 (一般条件)	2h	50,000 kcal	100,000 kcal・h
自動車 (好条件)	1h	32,000 kcal	32,000 kcal・h
自転車	10h	3,500 kcal	35,000 kcal・h
徒歩	20h	6,000 kcal	120,000 kcal・h

表 4 のように、移動距離が  $100 \text{ km}$  と長くなれば、合算効率は人力に比べ、自動車が良くなってくる。も  
っと長距離になれば、自動車の合算効率がさらに良くなり、人力を抜くことは容易に類推できる。（試算  
省略）

特に、ハイブリッド車で高速道路に行く場合、 $100 \text{ km}$  で、人力の合算効率を抜いている。しかし、高速  
道路は有料である。高速道路建設やハイブリッド車を作る分のエネルギーまで考慮すると、長距離でも自  
動車の効率が人力よりいいとは言えない。

試しに、自転車で  $100 \text{ km}$  走るときの消費エネルギー  $3,500 \text{ kcal}$  をガソリンの量に換算すると

$$3,500 \text{ kcal} \div 8,000 \text{ kcal/l} = 0.44 \text{ l}$$

自動車で理想的な好条件で走った場合でも、 $4 \text{ l}$  のガソリンを使う事を考えれば、 $0.44 \text{ l}$  のガソリン相当の  
エネルギーしか使わない自転車は、極めて素晴らしい燃費と言える。

## 4 農作業の効率

農作業は、機械の導入によって、時間効率が非常に上がる作業と、あまり上がらない、若しくは機械では出来ない作業がある。稲作で言えば、耕起、田植え、収穫（稲刈り）では、機械の導入で時間効率が飛躍的に上がってきたが、育苗や除草（除草剤の使用は考えない場合）では、昔と比べあまり時間効率はあがっていない。

ここでは、機械の導入によって時間効率が飛躍的に上がった田植えに関して、2つの効率を試算して比較する。

田んぼ1反（約10a = 1,000 m<sup>2</sup>）の面積に田植えする場合で試算して比較する。

### 4.1 田植え機による2つの効率

まず、田植え機は、ガソリンエンジンのもので、性能はスタンダードな4条植（条数は、一度に植えることのできる列の事で、2~8条がある）で、現在普及している乗用型とする。速度は2km/hとする。この場合、1反の作業時間は0.7時間（40分）ほどである。消費ガソリンは、1.5ℓ/h×0.7h=1.05ℓであるので、消費エネルギーは

$8,000\text{kcal}/\ell \times 1.05\ell = 8,400\text{kcal}$  である。

次に、乗用8条植、速度2.5km/hのハイスペックな田植え機を用いた場合、1反の作業時間は、0.3時間（18分）で、消費ガソリンは、3.3ℓ/h×0.3h=0.99ℓで、時間効率は2倍以上よくなるが、エネルギー効率はほぼ変わらない（田植え機の価格も考慮すれば、ハイスペックな機種が必ずしもいいとは言えない）。

### 4.2 手植えによる2つの効率

手植えによる田植え作業は、稲作の方法（水稲か陸稲かなど）や経験によっても大きく変わる。ここでは、大規模に行われた手作業での実験の統計に従って、一般的な水稲で1反13時間とする（昔、実際に手植えが普通に行われていた頃は、1反10時間と言われていたそうである）。この時、人力の消費エネルギーは、きつい農作業として、500kcal/h と考え

$500\text{kcal}/\text{h} \times 13\text{h} = 6,500\text{kcal}$  である。

表5 田植えの2つの効率

田植え方法	A 所要時間	C 消費エネルギー	D 合算効率 (A×C)
I-1. 田植え機4条植	42分=0.7h	8,400 kcal	5,900 kcal・h
I-2. 田植え機8条植	18分=0.3h	8,000 kcal	2,400 kcal・h
II. 手植え	13h	6,500 kcal	85,000 kcal・h

表5からわかるように、人力による手植えは、田植え機を用いた場合よりも桁違いに時間がかかる。スタンダードな4条植の田植え機の  $13/0.7 \approx 19$  倍  
大規模化で増えてきたハイスペックな8条植の田植え機の  $13/0.3 \approx 43$  倍 である。

それに比べてエネルギー効率は、表5より、田植え機の何条植の場合でも、手植えとそれほど変わらないので、合算効率も、田植え機のほうが時間効率と同じくらいに良い。このことから、現在の農家にとって農業機械は無くてはならないものである事が実感できる。

江戸時代は、農民が全人口の8割以上であった。丁度8割だとしても、備蓄の分を考慮しなければ、当時、日本全国の人口を養うためには、農家1軒あたり、自家消費の分も合わせて $10/8=1.25$ 軒分の米を作ればよい計算になる。即ち自分の家で食べる分以外に、0.25軒分の米を作れば良かった計算になる。

統計が残っている最も古い1883(明治16)年の反収(1反当たり収量)は178kgである。これはほぼ3俵である。だから、江戸時代以前はこれ以下の単収であったと考えられる。

江戸時代中期の日本の人口は3,000万人ほどで、農地面積は3,000万反(約300万ha)くらいであったから、一人当たりの農地は1反(約10a)の計算になる。

田んぼ1反は、昔(江戸時代以前)は米一石[いっこく]を収穫できる面積で、米一石(=1,000合 $\div$ 2.5俵)は、ほぼ人間の大人一人が1年間に食べる米の量だそうである。だから、反収2.5俵とすると、当時の農地面積3,000万反は、丁度日本の人口3,000万人を養う分を生産できたことになる。その後、反収はほぼ増加を続け、現在では1反で、5~10俵の収穫がなされている。

以上の試算からも、江戸時代は、農民以外の余剰人口は全人口の2割程度までしか養えなかった事になる。

例えば、江戸時代中期の農家1家族が8人の大家族とすると、平均10反の田を所有していたことになる。(この場合、働き手も幼い子を除いてほぼ全員であろう。)

この農家の生産する米は、反収3俵として、

$10反 \times 3俵/反 = 30俵$ 。このうち、この農家が食べる分が $2.5俵/人 \times 8人 = 20俵$ であるので、自分の家で食べる分以外の米は $30俵 - 20俵 = 10俵$ だけとなる。

10俵で、養える非農家の人口は、 $10俵 \div 2.5俵/人 = 4人$ である。

その時代と比べ、現代は、農業機械があるので、1人でも数十反(数ha)の田で米を作ることが可能である。先の江戸時代の試算と同様に、大農家で8人の大家族とし、100反(10ha)の田で米を作っているとすると、現在、慣行農業で8俵/反、有機農業で6俵/反くらいであるから、

慣行農業で  $8俵/反 \times 100反 = 800俵$

有機農業でも  $6俵/反 \times 100反 = 600俵$

収穫できる。この農家が自分の家で食べる分は、江戸時代同様  $2.5俵/人 \times 8人 = 20俵$  くらいで済むので、自分の家族の分を除いた余剰の米の生産量は慣行農法で、780俵、有機農法でも580俵もある。翌年の種の分の米は大した量ではないので、それを差し引いたとしても、大規模農家1軒あたり、非農業の人口を200人~300人養える計算になる。

また、現代の農家は、これだけ広い田でも、農業機械を使えば1人~3人で十分にやっつけられるので、残りの家族は他所に働きに出ることもできる。現代の農民1人当たりの生産性は、江戸時代の数十倍にまで上がったのである。その為に必要な事は、膨大なエネルギーの投入である。つまり現在、石油無しにはこの生産性を維持する事はできないのである。日本の稲作に限らず、世界の農業は、石油が無ければ現在の人口を支えることは全く無理である事は容易に類推できる。

## 5 おわりに

### 5. 1 ガソリンエンジンと人力（炭水化物エンジン）

ガソリンエンジンと人力とを比較したのは、2つの点で真逆の動力源だからである。

まず、エネルギー効率と時間効率が極端に真逆の関係にある。つまり、ガソリンエンジンは時間効率が良くてエネルギー効率が悪い。人力はその逆である。次に、ガソリン（石油）は埋蔵量が減る一方で、枯渇性があり、更に環境汚染の大きな原因になるのに対して、人力は再生可能なエネルギーであり、環境汚染も起こさない。

一般に現代社会では、エネルギー効率よりも時間効率が重視される傾向にある。これは、ある意味当然である。現代の自由競争社会では、エネルギー効率を犠牲にしても、大量のエネルギーを消費して時間効率を追求し、競争に勝とうという立場が一般的だからである。競争に勝つためには他よりもより速く到達し、より速く開発し、より速く生産し、より速く発展することが有利なのである。

現代社会では“Time is money：時は金なり”と言う格言も、ほとんど「時間効率が重要」という意味に解釈されている。お金をかけて、エネルギーを大きく消費しても、時間を短縮することが重要という事である。

一方、現代社会ではSDGs だとかESG、CSR、など“Sustainability：持続可能性”が重要視されている。そして、時間効率を追求することと持続可能性を追求する事とはトレードオフの関係にある。時間効率を追求すれば、エネルギー効率が悪くなり、エネルギー効率が悪いのにもかかわらず経済成長をさせようと時間効率ばかりに拘れば、エネルギー不足、資源不足、環境汚染、環境破壊が起こるからである。

時間効率を追求する限り、持続可能な社会への移行は困難である。だから「エネルギー効率をもっと重視すべきである」という持論をこの論考の結論とする予定であった。この持論に変わりはないが、今回の試算で、現在の農業ではそれが全く無理であることが判明した。日本に限った事ではないが、石油（ガソリン等）をエネルギー源とする農業機械が無ければ、世界の人口に必要な食料は全く賄えない。一方、石油は枯渇するから、持続可能では無い・・・というジレンマに陥る。

### 5. 2 移動の2つの効率

移動に関しては、短距離であればできる限り徒歩、または自転車の人力で移動すべきである。それが、今見直されているスローライフという暮らしであろう。短距離の範囲は人によって500m、1km、5km、10km・・・と違うであろうが、現在、雨も降っていないのに数百mの移動でも、自動車を使う人が多過ぎる。せめて晴れた日1km以内なら、人力（徒歩、自転車等）で移動すべきである。

これに対し「人間が自転車や徒歩では行けないような遠い場所や海外には、自動車や飛行機で行くしかないだろう」と考える人が大部分であろう。しかし、そこまでして遠くに行かなければならない事は実際にはそれほどないのである。インターネットの利用で在宅ワークやオンライン会議も出来る。物も地産地消にすれば遠くからの輸入は減らす事ができる。毎回非難されているように、自家用ジェットを使ってダボス会議に出席するような事は愚の骨頂である。

移動の効率を、ガソリン車と、人力による自転車、徒歩とを比べ、合算効率は、距離が長くなれば長くなるほど自動車に有利になってくるという結果になった。しかし、それは人力を投入エネルギーとみなした場合である。先に述べたように、現代の各種エネルギー統計では、人力、即ち人間の労力はエネルギー消費とみなされていない。これは石油などの他のエネルギーと比べ、無視できるくらいに小さいという理由以外に、わざわざ外部から投入したエネルギーではないからである。更に、エネルギーの枯渇が心配さ

れるエネルギー問題や環境汚染にも全く関係していない。そして、適度な労働はいい運動になり、健康にも良く、単純なエネルギー消費とは考えられない。人間がほとんど運動せずに、基礎代謝のレベルで生活していれば、不健康で体力も衰える。以上の事より、人力をエネルギー統計で無視することは、合理的な意味がある。その場合、自転車、徒歩などの人力の投入エネルギーはゼロとみなされるから、時間×消費エネルギーで定義した合算効率も0になり、ガソリンよりも遥かに優れたエネルギーと考え得る。

### 5. 3 農業の2つの効率

2019年現在、日本の農業人口は168万人である。江戸時代並みの時間効率で、人力で農作業を行っていたら、農民全員が稲作農家だとしても、200万人分くらいの米しか生産できないこととなる。これでは日本で消費する米の数%にしかない。かなりな危機的状況となる。だから現在は石油（ガソリンなど）で動く農業機械が必需品なのである。

同じ人力でも、先に述べた通り、移動の場合「自転車」と言う機械を用いれば、徒歩と比べ、時間効率も、エネルギー効率も良くできる。それと同じように農業機械も、工夫すれば、手植えよりも時間効率もエネルギー効率も共に上げられる筈である。それが真の科学技術の進歩だと考え得る。

### 5. 4 持続可能なエネルギー源

現代文明は、経済成長の為に、物資やサービスの拡大再生産を繰り返し、その為にエネルギーも拡大再生産しなければならなかった。それに伴い、科学技術も、自動車から始まって、飛行機やリニアモーターカーのように、エネルギーを湯水の如く使っても、時間効率に重点を置いてきた。しかし、もうそのような時代には幕を引かなければならない。資源・エネルギーが枯渇に向かい、環境破壊が地球規模になってしまったからである。現在開発されている新エネルギーも、期待とは裏腹に、地球環境を破壊してしまうかも知れない危険性を孕んでいるものが多い。核融合発電などである。

石油はいずれ枯渇するから、石油を使った機械は持続可能では無い。現在、「再生可能エネルギー」へのシフトが叫ばれているが、今のところ、全て石油の代替にすることは不可能である。つまり、現代のエネルギー源の大半を占める化石燃料（石油、石炭、天然ガス・・・）の使用は大きなジレンマとなっている。

持続可能な社会に移行するためには、時間効率よりもエネルギー効率を上げることが必要である。これからの科学技術は、エネルギーを出来るだけ使わないで仕事をする事、すなわち、エネルギー効率を追求することが、重要になってくると思われる。現在再生可能な代替エネルギーとしてはほとんど注目されていない人力も、優れた再生可能エネルギーの一つである。昔のようにもっと活用すべきである。

## 参考資料

### 主な参考文献

- [1] 石川英輔 (1990) 大江戸えねるぎー事情 講談社  
[2] 石川英輔 (2009) 大江戸省エネ事情 講談社

### 主な参考ウェブサイト

- [1] 経済産業省 資源エネルギー庁 エネルギー源別標準発熱量 (2018年度改定) より  
八光電機 燃料の発熱量 <https://www.hakko.co.jp/qa/qakit/html/h01110.htm> 2022年12月29日参照
- [2] 厚生労働省「日本人の基礎代謝量基準値基礎代謝」 e-ヘルスネット 2022年12月29日参照  
<https://www.e-healthnet.mhlw.go.jp/information/exercise/s-02-004.html>
- [3] 文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会報告「五訂増補日本食品標準成分  
2022年12月29日参照  
[https://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu3/toushin/05031802.htm](https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu3/toushin/05031802.htm)
- [4] 社会実情データ図録 運動による消費カロリー 2022年12月29日参照  
<http://honkawa2.sakura.ne.jp/0225.html>
- [5] かんたん消費カロリー計算 2022年12月29日参照  
[https://hbb.amary-amary.com/calc\\_carpentry.php](https://hbb.amary-amary.com/calc_carpentry.php)
- [6] 名古屋大学農学部附属農場 小林喜男・水谷慎作 手作業による田植作業の時間研究 1966、1968  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsfwr1966/1968/5/1968\\_5\\_61/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsfwr1966/1968/5/1968_5_61/_pdf/-char/ja)
- [7] 農林水産省 生産局 稲作労働時間の推移 2022年12月29日参照  
[https://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/zikamaki/z\\_genzyo/pdf/01.pdf](https://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/zikamaki/z_genzyo/pdf/01.pdf)
- [8] 農林水産省 消費者の部屋 お米作りに必要な機械 2022年12月29日参照  
[https://www.maff.go.jp/j/heya/kodomo\\_sodan/0206/12.html](https://www.maff.go.jp/j/heya/kodomo_sodan/0206/12.html)
- [9] 農業とつながる情報メディア 田植え機の作業効率比較表 2022年12月29日参照  
<https://ummkt.com/blog/2073>
- [10] 農林水産省「作物統計」水稲の収穫量等の推移 e-Stat  
<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?tclass=000001024932&cycle=0&layout=datalist>
- [11] フードマイレージ資料室 米収穫量の長期推移  
[http://food-mileage.jp/wp-content/uploads/2018/08/104\\_kome.pdf](http://food-mileage.jp/wp-content/uploads/2018/08/104_kome.pdf)
- [12] お米の話 第46話 日本のイネの収穫量  
[https://www.jaicaf.or.jp/fileadmin/user\\_upload/publications/FY2020/okome46\\_200828.pdf](https://www.jaicaf.or.jp/fileadmin/user_upload/publications/FY2020/okome46_200828.pdf)
- [13] 農林水産省 農業振興 なぜ日本は水田を求めたのか 2022年12月29日参照  
[https://www.maff.go.jp/j/heya/kodomo\\_sodan/0206/12.html](https://www.maff.go.jp/j/heya/kodomo_sodan/0206/12.html)

## 謝辞

本学で2022年度から新たに開講された「地球環境の科学」の講義を担当させて頂き、深く感謝いたします。

この分野は私の長年のテーマであり、自分としても今まで色々講義した中で、最も有意義な講義でした。講義には、地球環境や環境問題に興味関心のある学生が集まって、学生達から多くのフィードバックを頂きました。講義の中で「2つの効率」に関しても触れ、学生からのフィードバックを得て、もっと深く検証して講義すべきだと感じました。そこで、内容を大幅に増補して、試算し直して、論考として書くこととしました。有意義なフィードバックを下された会津大学短期大学部の学生たちに心より感謝いたします。

また、本稿を書くにあたって、稲作に関する参考文献、参考ウェブサイトでは不明だった数々の点を、会津美里町の有機無農薬農家、元木博人氏に教えて頂き、本稿を書き上げることが出来ました。心から感謝申し上げます。