

経済過程とエントロピー

——エネルギー分析の一視角——

武 村 昌 介

目 次

- I 序
- II 生存経済学について
- III 物質, 価値, エネルギー
- IV 生産性考察

I 序

“経済現象”については問題にするが, “経済過程”については問題にしない, というのが現代経済学の常識となっているように思える。現象を説明するための道具箱を用意するのに努力すればよく, その現象がどういった経済過程のどの時点の遷移を示しているのかについては無関心でよいのである。もし, 現代経済学に一大転換——価値観の転換——が必要だとすれば, こうした経済学における“現象論”から“過程論”への一大変革を意味するものと理解したい。

たとえば, 生態学(エコロジー)の世界では, 生物の生態の現象を説明するだけでは不十分であり, 生態の過程の説明こそがそのもう一つのメインとなっている。“生きた物”(人間を含める)が研究対象となっている科学においては, 過程論は必須である。けだし, 個体の生命過程や個体同志の相互作用

用のメカニズムが説明されなければならないからである。というのも、それが、生物個体群の生存（又は、種の維持）にとくに關っている、といえるからに他ならない。生存を明示的に導入した経済学はあったらどうか。生存を尊ぶ経済学は存在したかどうか。答は残念ながら、NOである。生命維持を基本的なシューマとした経済学は決してなかったのである。本稿は、生存を基本シューマとした経済学の基本的枠組の可能性を探求してみる。それを称して、“生存経済学”（環境経済学ではない!!）と試してみようと思う。

Ⅱ 生存経済学について

生存経済学という名称は、いまだかつて使われたことはない。これは、筆者の新造語である。しかし、それがカバーする関心領域はとても広く、かつ深い。考えられるものを挙げてみても、環境破壊（公害を含む）、犯罪（非行を含む）、失業、精神病理、資源浪費、交通事故、食料危機（飢饉を含む）、人口爆発および軍拡競争等々である。その中でも、環境破壊に連動した資源浪費に、ここでは主たる関心をもって、生存経済学の何たるかについて、その一端を考えてみることにする。

環境破壊や汚染については、環境経済学という名称のもとに議論されてきた。しかし、その内容は、伝統的経済学のもとで外部経済・不経済論として議論されてきたものの再述の域をあまり出るものではない。汚染という経済現象の解釈を伝統経済学のツールを用いて行なっているにすぎないのである。つまり、商品の生産から廃棄に至るまでの全過程を週及的に追跡することをしていない。

アメリカの現代文明の批評家、J. リフキンは述べている。「大部分の経済学者は、……人間の労力と機械は、無限に価値のあるものを生み出せるとする考え方である。なぜなら、彼らは永遠かつ無限の物質的進歩というものを、信じて疑わないからだ。しかし、……何か価値あるものを生み出す際には、人

的エネルギーあるいは機械的エネルギー、ないしは他のかたちのエネルギーが消費され、そのたびに環境全体に対し、さらに大きな無秩序と廃棄物をもたらすということであり、われわれが作り出す価値ある物ですら、結局は廃棄物ないしは消費されたエネルギーとして終わってしまうということである。したがって、使用可能なものを“永遠に”蓄積しつづけるという意味においては、“物質的な”進歩というものは存在しないのである。というのも、われわれが世界で作りに出しているものはすべて、最後には風の中の塵として散ってしまうからである。……資本主義社会にしる社会主義社会にしる、生産単位あたりの速度で生産性を定義している。……しかし、生産性については、熱力学的尺度で考えるほうが、もっと適切である。つまり生産性というものを生産単位あたりの速度ではなく、生産単位当たりで生じたエントロピーの量に基づいて算出するわけである。⁽¹⁾この十数行ほどの論評の中に、筆者がまさに問題としたい主旨が集約的に表現されている。

そこで、テーマを3つに集約できると思われる。

- (1) “物質的進歩”
- (2) “廃棄物ないしは消費されたエネルギー”
- (3) “エントロピーの量で測られた生産性”

が、それであり、すべて生存経済学の骨子ともなりうるものである。これら3つに手がかりを求めつつ、議論を進めていきたいと思う。

“進歩”とは何であろうか。もちろん、“生存可能”といえる“進歩”がいま問題なのである。これに答えるのはそう簡単ではない。物質的進歩を意味づけるのは容易である。経済学者のいう進歩は、すべてこれに帰する性格のものといっても過言ではない。

およそ、経済活動に不可欠な資源には三つある。物質、エネルギーそして

(1) J. リフキン『エントロピーの法則——21世紀文明観の基礎』、竹内均訳、祥伝社、昭和57年、pp. 153—4。

情報である。進歩があるとすれば、この三つの側面を把握せねばならない。つまり、物質的進歩、エネルギー的進歩そして情報的進歩ということになる。情報的進歩は少し別にしても、経済学者が、エネルギー的進歩を全く視野の外に置いておくとはいわないが、少なくとも、物質的進歩こそにすべて帰着できるし、またそうでなければならぬと考えていることは確かである。経済学者は価格のついた物財（＝物質的財貨）goods を問題にする。物理学者は成分をふくんだ物質（materials）を問題にする。経済学者のいう物財は、物理学者のいう物質と同じものではもちろんない。もっとも、ここで物財と物質の正確な相違を詳細に議論することは目的ではない。経済学で財貨のことを物質と呼ぶのは、タームの使い方の慣用によるものであり、まぎらわしいが、理解はできる。通常、“物質文明”とっている意味も同様なことであると考えられる。経済学でいう“物質”の意味を財貨としての、しかし、慣用語としてではなく、本来の、又真の意味での『物質』にこそ置きかえることが重要なのである。そうすることによって、われわれは、従来の経済学の枠組よりもより広い視野でみた“生存経済学”が形をなしてくることを知るようになると思われるものである。

いまや、物質的進歩とは、「財貨生産極大仮説」としては成立しないことになる。物質的進歩は、もっと究極的な意義をもつようになる。ジョルジュ・レーゲンは、「経済過程自体に関する限り、われわれは純粹に自然の現象によってではなく、生物、とりわけ人間による何らかの活動によって起こされる大量の物質の散逸を無視してはならない。人間が食物や材木を、生産した農場や森からはるかに隔たった場所で消費するのは、ある生命を持った要素の散逸である。現実には……利用可能なエネルギーもまた浪費されている。最も奇妙なことに、われわれはこの浪費に気付いているが、利用可能な物質の浪費には気付いていないのである。この違いは、日光の流れには事実上際限がないので、森林は木材を無限に供給できるという錯覚の原因となっている。しかし、森林は、外部からの妨害がなく、表土がその性質を永遠に持続

しなければ、永続することはできない。⁽²⁾」彼は、人間の生命維持(=生存)のために利用可能な物質の散逸について注意を喚起している。ここの意味での物質が財貨でないことは明らかである。物質的進歩とは、利用可能な物質の散逸を最小限に抑える努力をする程度、に依存しているというべきなのである。これは逆説的にきこえるが本当にそうなのである。物質の散逸(これを拡散という学者もいる)とは、経済学者が考えるように、財貨を消費し、使い尽くすといったような意味は全くない。

Ⅲ 物質, 価値, エネルギー

廃棄物は、使い果たされたあとの不要のもの、というわけではない。この際、物質の廃棄物とエネルギーの廃棄物とが最も重大な課題となる。廃棄物は捨てられて、われわれの経済活動の手を離れるとする考えを改めなければならない。リフキンは、次のように説明する。「……“再生利用”という問題を考える場合に、大切な観点となる。われわれは、自分たちが使っているほとんどすべての物が、適切な技術を開発しさえすれば、まず完全に再生し、利用できるものと思込んでいる。だが、これは間違いだ。将来、この世界が経済的に生き残っていくには、リサイクル(再生利用)をさらに効率的に推進していくことは不可欠であり、これは言うまでもないことだが、100パーセント再処理できる方法などないのも事実である。たとえば、清涼飲料の空罐を考えればよくわかるように、大部分の使用済み金属をみた場合、平均的な再生利用効率は、現在30パーセントとなっている。さらにリサイクルングのためには、使用された素材の収集・運搬・処理というように、別のエ

(2) N. ジョルジュ・レーゲン「エネルギー分析、経済的価値およびテクノロジー・アセスメント」『経済学の神話——エネルギー、資源、環境に関する真実——』、小出厚之助他訳、東洋経済、昭和56年、pp. 241—2。

エネルギーが必要となって、環境の全エントロピーが増える結果になる。したがって、何かを再生利用するには、新たに使用可能なエネルギーの出費と、環境の全エントロピーの増大という犠牲が必ずつきまとうわけである。ここで繰り返し強調したいのは、この地球上では絶えず物質的エントロピーは増大し、最後には極大に達するという点である。それは、地球が宇宙との関連において、“閉ざされた系”だからである。言い換えると、地球が宇宙空間と交換しうるのは、エネルギーだけであって、物質ではないということである。⁽³⁾この長い引用の中味は、かつて、K. E. ボールディングが新造した“宇宙船地球号”と同趣旨のものであるが、述べていることはきわめて重大である。簡約すれば、地球のような“閉ざされた小系”は、宇宙から物質的恩恵を受けることがないことを言っている。物質に関する限り、地球は“閉じた系”（＝外部との間で物質代謝のない世界）の十字架を永久に背中に背負っていることになる。物質の廃棄物は再生して使うことができるが、部分的にしか使えない。しかし、エネルギーに比べればまだしも、再生の道が残っている。物質的進歩とは、こうした再生利用の効率をできるだけ高め、完全なる散逸の時点をいくばくかでも遅延させるという問題に帰着する。エネルギーにおいては、再生利用は全くできないので、そうした人間的知恵の創出がはなはだ難しくなるという相違がある。物質には物質の経済論理（経済という言葉をあえてつけている）があり、エネルギーにはエネルギーの経済論理があるということである。その経済論理の相違およびその独自性を理解することが、生存経済学を知るキーになると思われる。その論理とは、やはり散逸の論理、再生利用効率の論理を経済思考として思索してみることにあると考えてよいのではなかろうか。

エネルギーについてはどうであろうか。すでに触れたように、エネルギー

(3) J. リフキン、前掲書、pp. 34—5。

には、散逸の論理しかないのである。散逸というタームは経済学にはまだない。もともと物理学タームなのである。槌田が次のように言っている。「物理エネルギーの基本原理は、保存則である。これに対し、経済エネルギーの基本原理は、消費則である。保存と消費は対立概念であるから、物理エネルギーと経済エネルギーを同じものとする、矛盾になってしまう。つまり、別ものなのである。」⁽⁴⁾これをみると、物理学者と経済学者との間には、『エネルギー』というタームの意味について大きな齟齬が生みだされていると考えられる。しかし、その齟齬も、物理エネルギーは没価値 (Wertfrei) であり、経済エネルギーは価値をもつといった、周知の議論にのみ気をとられると真意がよく理解できないのではないかと思われてならない。物理エネルギーには、価値の概念が全然ないかということ、必らずしもそうではないからである。価値意識を全くもたない科学なんぞあるわけではないからである。それぞれ個別の一科学というパラダイムの中での「価値」が問題なのであるからであろう。両者の価値のとらえ方が違っているものを、一方にはあって他方にはないといえるものかどうか。たとえば、「効率」(Efficiency) については、熱効率というのが物理学にもあるが、これは一つの価値概念である。経済学においても効率は重要である。たとえば、生産効率というのが経済学にはある。もちろんこれも価値をとらえるための一つのツールであるにすぎない。両者にはともに「効率」という共通した名の価値概念があるが、両者は全く同じものではない。物理学の効率には normative (規範的) 意味はあまりないと考えられるが、経済学では、大いに規範的でありうる。むしろその方が経済分析的でさえあるともいえる。こうしたことは一例であるが、われわれのテーマであるエネルギーについて、両科学の境界上にのる、いくつか (価値も含めて) の問題について考察を重ねてみよう。

(4) 槌田敦『資源物理学入門』, NHK ブックス 423, 昭和58年, p. 17。

榎田によると、エネルギーには、四種類の意味があるという。が、実際には、もう少し多様であろう。理工、社会科学に通じているジャック・アタリが、⁽⁵⁾「エネルギーは、物質の移動および（あるいは）変形を可能にする能力」と言っているが、要するに、エネルギーとは「仕事をする能力」といえる。これが最もシンプルな定義とされている。アタリは、物質、エネルギーそして情報といった三者のからみについて興味深い考察をしているのであるが、彼の議論も参照しつつ、以下ではわれわれ自身の話を進めていこう。

アタリの議論の出発点となっているのは、次のような内容である。人間は、無意識のうちに、植物の代謝作用である光合成を利用し、さらに動物と人間との相互作用の中でエネルギーを利用してきた。それから、自然の資源要素としての石炭、石油、等のうちに含まれるエネルギーの一部を利用する方法を学んできた。最近代では、原子力をも利用する方法を知りつつある。この過程においては、これらエネルギーを利用して物質を抽出し、労働力をリプロダクトしつつ、道具（生産手段）を製造し、物（物財）を生産している。この彼の論法からいえば、経済エネルギーとは、生産手段なり生産物を生産するために使用される生産要素としての資源を指しており、それが化石燃料としての石油であり、鉱物としてのウランでありということだと考えられる。そうした資源は、経済過程としての特有の、生産的消費として消耗されてしまい、消耗した時点でその役目は終了する。経済過程では、エネルギーが消費則に従うというのは、そういう意味だと考えられる。もちろん、そうした資源のもつ価値（実際には、資源の価格として表われる）は、製造される道具なり物財に移転すると考えられる。まさに、変形（＝変換）の経済過程とはこうした内容をもっている。しかし、物理の熱力学過程では、エネルギー

(5) J. アタリ『情報とエネルギーの人間科学——言葉と道具』、平田清明他訳、日本評論社、昭和58年、p. 54。

に対する取り扱いがちがっている。“エネルギーが散逸する”というのは、エネルギーが消費してなくなってしまうことではなく、**仕事をする能力**としての自由エネルギーではなくなくなってしまうということであって、いわば、自由なそれ（束縛エネルギー）として依然存在することに変わりはないとされている。これが保存則の内容である。つまり、変形して散逸しても構わないが、エネルギーの総量は不変であることを言っている。もし、仕事をする能力をポジティブな意味で「価値」と呼ぶなら、自由エネルギーでなくなった時点で、価値を喪失することになる。だから、たとえば、石油を燃焼させた時点でいえば、經濟過程としても、熱力学的過程としてもどちらも、“それぞれの意味で”価値を失うと、一応形式的にはいえるわけである。どんな科学でも、それぞれの科学に通用する価値基準を設定しても正当である。ただし、他の科学に通用しないことは当然でてくることはありうる。これを、価値があるとかないとかの議論として片付けてしまうとすれば、それはミスリーディングというべきである。また、アタリは次のように言っている。「……生産に必要なエネルギー量（あるいはもっと正確に言えば、この過程で散逸したエネルギー量）を、それにかかわる熱力学的ポテンシャルの状態変化によって測定することが望ましい。熱力学の諸法則をふまえた利用可能なエネルギーすなわち入手可能なエネルギーは、自由エネルギーと呼ばれている。⁽⁶⁾」また、「どんな物であれ、それを生産するのに実際に「支出される」エネルギー量とむすびついている。いうまでもなく、このエネルギー量は、生産技術や社会諸関係に依存しており、この両者が、生産で使用される機械を製造したり雇用される労働力を再生産したりするのに必要なエネルギーを決定するのである。いいかえれば、經濟においてフローとしてしか現象しないエネルギーは、現実には生産によってストック状態で散逸させられるのである。こうし

(6) J. アタリ, 前掲書, p. 54。

たエネルギー・ストックをフロー状態で使用することは、原料のようなべつのストックからいくつかのべつのフローを抽出するのに役立つ。……エネルギー・ストックをこのように利用すれば、かならず転形が可逆的なばあいには必要とされるよりもずっと多くのエネルギー・ストックを散逸させることになる。⁽⁷⁾アタリは、物理エネルギーと経済エネルギーの区別を明確に意識しているとは思えないが、述べていることは、どちらかといえば経済エネルギーの方である。フローとストックの区別をエネルギーについて示しているのがその証拠である。散逸したエネルギーの量（支出される大きさまたはコスト）をどのようにして測定するのが望ましいかとか、またその量をストックの変化としてとらえるのかフローの変化としてとらえるのかといった問題はまさ

表1 工程の操作についてみた、エネルギー消費の比較 ($\frac{\text{その操作のために消費されたkwh}}{\text{生産された車}}$)

操 作	理想的变化(可逆的転形)	(生産過程における) 実際の変化
⋮		
製 造	$-\epsilon$ *($-0.2 \times 10^3 \text{kcal}$ 以下)	$-3,100$ *($-6,200 \times 10^3 \text{kcal}$)
⋮		
荷 あ げ	-25 *($-50 \times 10^3 \text{kcal}$)	-25 *($-50 \times 10^3 \text{kcal}$)
品 質 低 下	-2 *($-4 \times 10^3 \text{kcal}$)	-2 *($-4 \times 10^3 \text{kcal}$)
耐用年数を2～3倍にする製造	$-\epsilon$ *($-0.2 \times 10^3 \text{kcal}$ 以下)	$-3,600$ から $-4,100$ *($-7,200 \times 10^3 \text{kcal}$ から $-8,200 \times 10^3 \text{kcal}$)

- 注) 1) 但し、 $\epsilon=0.1$ 以下。
 2) 1970年の数字である。
 3) 但し、*印のkwh→kcalの単位変換は筆者が書き込んだ。
 換算率：2,000 kcal/kwh。

(7) J. アタリ，前掲書，p. 55。

に経済学の課題としてあるのである。そして、このことは、ひとしく価値の問題とも関連してくることを知るのである。

アタリは、興味深い資料を同所で提示している。表1がそれである（但し、元の資料のうち、わかり易い操作を筆者が選んで掲げてある）。これをみると、操作としては比較的単純（ないしは容易）なものほど理想的变化に近く、複雑な操作ほど、エネルギーの実際の変化は、理想的变化を大きく上回っている。前者は、荷あげとか品質低下の類であり、後者は、製造そのものにかかわる操作の類である。アタリは、次のような内容のコメントをしている。車一台を製造するときの熱力学的ポテンシャルの変化を各操作のカロリーによる評価（カロリー計算）で行なうことができる。実際になされるエネルギー支出は、理想的な産業過程がふくむはずのエネルギー支出よりもずっと高い。理想的な産業過程が時間的に緩やかな過程であることからわかるように、エネルギー支出の増大は、操作時間の短縮に大いにかかわっている。表1にもとづく、彼のこうした指摘は重要な示唆を含んでいる。表1は、製造工程の各操作（オペレーション）についての比較表であるが、産業について計測値を示した比較表もあるので、ここで合わせて掲げておきたい。それは表2である。⁽⁸⁾

表2 産業についてみた、エネルギー消費の比較

$\left(\frac{\text{Btu}}{\text{ton}}\right)$

燃料消費 産業	1968年の燃料消費 (実績)	1973年の現存技術を使 ったときの可能的な 燃料消費(想定)	熱力学的な利用可能 性を基礎にした燃料 消費の理論最小値
鉄 鋼	26.5×10^6	17.2×10^6	6.0×10^6
石油精製	4.4×10^6	3.3×10^6	0.4×10^6
紙	39.0×10^6	23.8×10^6	— 0.2×10^6 以上 0.1×10^6 以下

注) アメリカの各産業における数値である。なお、掲げた資料は原資料の一部分である。

(8) chapter 2 in *Potential Fuel Effectiveness in Industry* by E. Gftopoulos (editor), Cambridge Mass, Ballinger, Pub, Co., 1974, p. 8.

これをみると、実績としての燃料消費よりも、5年後の可能的な燃料消費（現存技術を使った）の方がずっと小さく、さらに、熱力学的観点からみた最小理論値の方がまたずっと小さいことが知られる。工程の操作でみても、産業としてみても、現実の燃料消費がいかに理想的な理論値（最小値）を上回っているかがよくわかる。

生産過程なり変形過程（製造という操作がメイン）というのは、それ自身、効率化を追求する過程ともいえる。その効率化の要素となりうるものは、投入物の質の向上、したがって産出物の質の向上そして生産時間の短縮であろう。これらの効率化の要素は、経済的効率を確実に高めるものと認識されている。つまり、生産過程における技術進歩は経済の効率を着実に高め、例外なく“良い”状態を生みだすと考えられているのである。これは、正しいのだろうか。これが、ほとんどの経済学者によって“正しい”と神話化されているところに、この議論の陥穽が存すると思われる。生存経済学の根幹もここに触れる。

さきに引用したJ. リフキンの洞察がこの際、まっ先に想起される。洞察の論点はアタリと全く同じであることが知らされる。さらに仔細な論点は、やはり“生産性”（Productivity）の捉え方にある。いわゆる通常の意味で“技術進歩と生産性”を正の相関として理解していたことを、いまやエネルギー消費量、さらにエントロピー（Entropy）といった尺度をもち込むことによって、負の相関として理解することなのである。ジョルジュ・レーゲン風にいえば、通常の意味での技術進歩に対する信頼は、現代経済学の神話と化しつつあるといえる。生産性をどう考えるのか。これが、解明のカギをにぎるとみたい。筆者は、かつて、次のように考察したことがある。すなわち、「効率の測定の尺度としてあるもとの基本形は、目的／手段という比率である。ここに手段とは、実際に投入される価値の大きさであり、目的とはそれによって生み出される産出の価値の大きさである。これはごく通常の実産性の尺度と同じものとみられる。生産性の意味は、産出の価値を投入の価

値で割ることである。……投入の大きさを一定に与えておいて、生み出される産出をできるだけ大きくするのでなければならない。あるいは、産出の大きさを一定に与えておいて、投入をできるだけ小さくしなければならない。……市場を媒介にした主体の決定における最適化(最大化ないし最小化)の条件を明らかにするのが伝統の経済学における合理的行動の基本的な内容である。⁽⁹⁾ 経済的な資源はすべて有限と考えなければならない。有限かつ人間の生存にとり不可欠の資源を、“効率的に使う”という観点からみるならば、通常の意味でみられる、産出の価値/投入の価値というフォーミュラは適用できないのではないかと、というのがここで主張したいことである。したがって、次のようにフォーミュレートできることになる。「資源経済の観点からみるかぎりには、一定の産出に対して、消費されるエネルギー（カロリー又はエントロピー）をできるだけ小さく保つことである。」というものである。つまり、投入/産出が基本型であって、かつ、分子である投入は価値で評価するのみではなく、エネルギーの[・]実際の消費量で評価するということである。産出は、単位数でよいが、結局は価格評価となるから、ひいては価値の評価と同じことになる。J. リフキンは、自動車の例について次のような内容の記述をしている。実際に自動車を作るのに、最低限（さきの、理想的な値）これだけ必要とされるエネルギー量を大きく上回るエネルギーが使われている。なぜそれだけ余計にエネルギーが必要なのかを考えるに次のことがわかった。生産性を上げるために、組立てラインから、自動車をできるだけ早くはずそうとする。生産速度を重視すればするほど、余計なエネルギーがそれだけ消費される。現代の工業技術社会で浪費されているエネルギーのほとんどが、速度（Speed）というものに対して人間達が支払っている代価である。ここで

(9) 拙稿「効率と公共部門について」岡山大学経済学会雑誌，第14巻第2号，昭和56年10月，p. 303。

彼が言っている速度というのは、いわゆる価値で評価するということと同一のものに帰する。けれど、速度を上げるということは、実際にかかるエネルギーを余計に消費させることになるからである。つまり、そのエネルギー消費分は、すでに触れたように、現代資本主義社会ではコスト評価され、価格に転嫁される。そのことが価値評価を高めることになるからである。問題は、コストとしてかかったものはかかったとして、否応なしに評価するという産出志向の生産性の考え方にあり、その考え方は基本的には修正されなければならないということである。オイルショック以降エネルギー専門家の間で研究されだした、いわゆる「エネルギー・アナリシス」も、その多くの仕事は、実際にかかったエネルギーの生産量なり消費量の計測に主として向けられており、経済過程についての来るべき、かつ憂うべき事態について（畢竟、エントロピーの原理について）の究明すべき問題の指摘にまでは至っていない。しかし、実際に消費されたエネルギーを計測してみせるという姿勢なり、それに伴った研究成果が、こうした問題への取りくみの貴重な手段を与えたことは間違いない。⁽¹⁰⁾ そうした、エネルギー・アナリシスの計量的な分析の発展があつてこそ、エントロピーの非可逆過程の考察が、一層の現実的な説明力を加えてくるといえるのではあるが。

さて話を本論にもどそう。それでは、生産性をどのように考えればよいか。それも、エネルギー消費の重大さを意識した生産性でなければならない。答えは、エントロピーをもち出さねばならないということである。エントロピーで測った生産性、これはどういうことになるのであろうか。節を改めて考えてみることにする。

(10) 例えば、茅陽一編『エネルギー・アナリシス——エネルギーからみた社会経済活動の計量分析』電力新報社、昭和56年および科学技術庁資源調査会編『衣・食・住のライフサイクルエネルギー』昭和55年等が代表文献（国内）である、とみられる。

IV 生産性考察

さきに、生産単位あたりの速度を増す手段として技術進歩が評価される傾向があることに言及したが、ここでは、エントロピーとの関連でこそ、生産性が評価されねばならぬことを考察する。J. リフキン⁽¹¹⁾は、逆説的な生産性の話として次のものを持ち出している。人里はなれたハイウエーを車で走っていて、走行中、ガソリンが切れかけたときにどうするか。次のガソリンスタンドまでどれぐらいの距離があるかわからないとすると、大ていのドライバーは、早くガソリンスタンドに着こうとしてスピードを上げるであろう。ところが、こういう場合にはゆっくり走った方が余計に距離をかせぐことができる。時間はかかるが（大ていの方は時間が短くなる方を選ぶ）、失った時間は、節約できたエネルギー相当分で埋めあわせできる。つまり、熱力学的な効率の観点からいうと、生産性を測る尺度は、生産単位あたりの速度ではなくて、生産単位あたりで生じたエントロピーが適切である、といえる。このリフキンの例示は、ドライブのケースに限られず、現実的なものであり、かつ教訓的である。要点をいえば、速度を高める、という時間要素を重視するあまり、エネルギー消費の非効率性の同時存在という、重大な意味での効率要素に気がついていないということになる。常識的かつ習慣的のみみる行動が、必ずしも効率的（生産性を高める意味）といえる行動に導かないということが強調されているのである。

さて、エントロピーで測った生産性とはいったい何であろうか。ここに至ると、われわれは、ジョルジュ・レーゲンの真摯な、エネルギー経済分析に学ばねばならない⁽¹²⁾。彼の主たる関心は、実行可能な（feasible）技術と

(11) J. リフキン、前掲書、pp. 154—5。

(12) N. ジョルジュ・レーゲン、前掲書、pp. 213—220。

自立的な (viable) 技術との相違に注目し、後者の技術こそ、人間にとって生存可能な生産技術的方法であることを立証することにある、と考えられる。いわば、生存経済学 (ジョルジェスクはこのタームを使っている訳ではないが) の核心に触れようとしているのである。彼の議論を筆者流にアレンジして述べ、さらに彼の分析にはないけれども、生産性の考え方にまで議論を拡張してみることを試みてみよう。

表3は、経済における生産プロセスを、Ⅰ＝資源・エネルギープロセス、Ⅱ＝財・サービスプロセス、Ⅲ＝廃棄・再生プロセスを行に、産出と投入を、1＝資源・エネルギー (天然)、2＝同左 (人工)、3＝財・サービス、4＝廃棄 (・再生) 物、5＝拡散エネルギー (エントロピー尺度) を、列にとったマトリクスである。エントリーに入っている数量はすべてフロー変数であり、単位はエネルギーの物的単位としての cal (カロリー) とする。金額表示でないことに注意を要する。なお、この表は、まだプロセスなり投入・産出を追加できる、いわば“開いた”表であることも断っておかねばならないが、ここでの議論のためにはこの表で十分役に立つ。

エネルギー保存を保証する、エネルギー・バランス条件 (そう呼ぶことにする) は何であろうか。

表3

生産プロセス 投入・産出	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
	資源・エネルギー プロセス	財・サービス プロセス	廃棄・再生 プロセス
1. 資源・エネルギー (天然)	$-s_1$	—	—
2. 資源・エネルギー (加工)	x_{11}	$-x_{12}$	$-x_{13}$
3. 財・サービス	$-x_{21}$	$x_{22}(\text{net})$	$-x_{23}$
4. 廃棄 (・再生) 物	w_1	w_2	$w_3(\text{net})$
5. 拡散エネルギー (エントロピー尺度)	e_1	e_2	e_3

注) 1. 単位は cal (カロリー)。

2. netの意味は、(生みだされたもの)-(使われたもの)=純量である。

$$\begin{cases} e_1 = s_1, & e_2 = x_{12}, & e_3 = x_{13} \cdots \cdots \cdots \textcircled{1} \\ w_1 = x_{21}, & w_2 \geq x_{22}, & w_3 \leq x_{23} \cdots \cdots \cdots \textcircled{2} \end{cases}$$

がそれであると考えられる。次に、技術を自立させる（例えば、1 カロリーの石油から 1 カロリー以上の石油が生み出されることを保証する）条件、技術・自立条件（そう呼ぶことにする）は何であろうか。

$$x_{11} \geq s_1 + x_{21}, \quad x_{22} \geq x_{12}, \quad w_3 \geq x_{13} + x_{23} \cdots \cdots \cdots \textcircled{3}$$

がそれであると考えられる。以上の 2 つの条件（式①, ②, ③）を総合すると、

$$x_{11} \geq e_1 + w_1, \quad w_2 \geq x_{22} \geq e_2, \quad w_3 \leq e_3 + x_{23} \cdots \cdots \cdots \textcircled{4}$$

が得られる。これらは、エネルギー保存を保証し、かつ使われる技術が自立であることを保証する最終的な条件であると考えられる。④を書きなおすと、

$$e_1 \leq x_{11} - w_1, \quad e_2 \leq x_{22} \leq w_2, \quad e_3 \geq w_3 - x_{23} \cdots \cdots \cdots \textcircled{5}$$

となる。これら e_i ($i = 1, 2, 3$) で整理した式は、生産性について示唆することがあるだろうか。なお、 e はもはや利用不可能なエネルギー（これを拡散エネルギーとか散逸エネルギーとか呼ぶのが習わしである）を示しており、エントロピーの大きさを表わす尺度となるもの、と一応考えておいて差しつかえない。生産性を、拡散エネルギーを産出エネルギーで除したものと定義しよう。すると、⑤はさらに、

$$\frac{e_1}{x_{11}} \leq 1 - \frac{w_1}{x_{11}}, \quad \frac{e_2}{x_{22}} \leq 1 \leq \frac{w_2}{x_{22}}, \quad \frac{e_3}{w_3} \geq 1 - \frac{x_{23}}{w_3} \cdots \cdots \cdots \textcircled{6}$$

と整理できる。いうまでもなく、⑥式の中の $\frac{e_1}{x_{11}}$, $\frac{e_2}{x_{22}}$ および $\frac{e_3}{w_3}$ は各プロセス

ス内における生産性であるから、⑥は、こうした生産性への制約を端的に示

す条件，と解釈することができる。したがって，これらは各プロセスについてそれぞれ成立する，いわばマイクロの条件といえよう。プロセス全部をトータルにとらえた，いわばマクロの条件は，次のものである。

$$\frac{e_1 + e_2 + e_3}{x_{11} + x_{22} + w_3} < \delta \quad \dots\dots\dots \textcircled{7}$$

マイクロとマクロの条件⑥と⑦が同時に成立することが求められなければならない。⑦は拡散エネルギーの総和（＝エントロピーの総量， $e_1 + e_2 + e_3$ ）を，産出エネルギーの総和で除した値が，経験的に決めることのできる，何らかの生産性基準値 δ （デルタ）を越えてはならないことを示している。この δ は，人間が，自らの生存を維持でき，かつ科学的なエネルギー分析から導出される大きさであって，問題にする期間について政策的に決めうるものである，と考えたい。こうした δ の値の決定は，科学的根拠にもとづいた，エントロピーの総量規制の意義をもっている。

さて，在来的な生産性の考え方は，いうまでもなく，産出物の価値を投入物の価値で除すことによって得られる，というものである。その場合，価値は金額表示で示されるのが常套である。勿論，この場合，物量で測定することはできるし本来的にそうなのであるが，価値の測定ということでは金額表示が使われる。この在来的な生産性の考え方は，最も基本となるフォーミュラであることに変りはない。しかしながら，ことエネルギー消費，もっと具体的にはエントロピー増加という観点からみるならば，このフォーミュラは⁽¹³⁾欠点をもつ。 δ に与える影響のちがいにおいて，それは明瞭にあらわれるだ

(13) 筆者は，最近，エントロピー概念を経済分析のツールとして使用することを試みたことがある。拙稿「Service化経済分析序説（Ⅲ）」岡山大学経済学会雑誌，第17巻第1号，昭和60年6月。こうした考え方が，現代経済学にまだ定着していないのは，何とも残念ではある。

ろう。けだし、金額表示でみた（又、たとえ物量でみたとしても）在来型の生産性が大きくなる、つまり生産性が上昇する、としても、そのことが、エントロピー自体を同時に大きくしてしまうことが十分に考えられるからなのである。投入に比しての産出が大きくなっていることを評価できる一方で、不可逆的なエントロピーを増やしてしまうという、ややもすると、正当な評価計算から漏れる事態が同時に起る可能性がある。これを無視することはできない。つまり、総量規制的意味での基準 δ が潜在的に大きく設定されているがために、そうした評価しえない（＝マイナスの評価のこと）事態が問題化してこないということである。こうした、食いちがいの事態が実際に起こっていると考えるが、それを資料データでもって立証する必要がある。そこまで踏み込んでみる用意はあるが、本稿ではまだ果たせる段階にはない。なお、本稿であまり述べることのなかった“情動的進歩の経済過程”とのからみも含めてこの課題を研究する仕事は別の機会に譲ることとしたい。