

# 紙の生態学的価格に関する研究

城田久岳<sup>1</sup>・浮田正夫<sup>2</sup>・中西 弘<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 宇部短期大学助教授 環境衛生学科 (〒755 宇部市文京町 5-40)

<sup>2</sup>正会員 工博 山口大学教授 工学部社会建設工学科 (〒755 宇部市常盤台 2557)

<sup>3</sup>正会員 工博 大阪工業大学教授 工学部土木工学科 (〒535 大阪市旭区大宮 5-16-1)

自然生態系に悪影響を与えないようにモノを生産、流通、消費および廃棄することを目指した経済システムを生態学的経済システムとし、その経済システムの下で決まる製品の価格を生態学的価格と定義した。本研究ではケーススタディとして紙の生態学的価格の試算を行った。資源および環境について生態学的に適切な管理目標を設定し、原木価格、エネルギー費用、公害防止費用、産業廃棄物処理費用および紙ごみ処理費用について検討した。その結果、紙の生態学的価格は現在の価格の約2.6倍になることが推定された。また、再生紙と処女紙の生態学的価格の比較より、再生紙が環境にとって好ましいと総合的に評価された。

**Key Words :** *ecological economy system, ecological price of paper, pollution prevention cost*

## 1. はじめに

地球温暖化などの地球規模での環境問題や資源枯渇問題は、産業革命以降の大量生産・大量消費に支えられた経済発展に大きく起因している。別の見方をすれば、環境破壊や資源浪費が内部化されない市場の下で、経済の効率性のみを追求した結果、これらの問題が生じている。

そこで、これまで外部不経済とされていた環境破壊や資源浪費を内部化し、市場経済の中で解決しようとする試みがなされようとしている。税・課徴金制度、補助金制度、排出権取引制度やデポジット制度などがそれである。資源・環境制約下の経済発展には、資源や環境の利用価値を質的にも量的にも損なわないような循環型社会システムへの移行が求められる。そこに至るまでのプロセスとして、これらの経済的手段はさきわめて現実的な手段である。しかし、それが科学的根拠や社会的公平性に欠けるものであれば、効果が得られないばかりか市場の混乱を招く恐れがある。オランダや北欧4国で地球温暖化防止を目的として段階的に導入されている炭素税<sup>1)</sup>は、石油・石炭・天然ガスなどの化石燃料が課税の対象で、森林伐採や土地利用の転換などの地球温暖化を促進している他の要因が対象から外されている点で十分なものとはいえない。経済的手段を社会に定着させ、目的に対する効果を上げるためには、環

境の悪化がどのような人間活動によって引き起こされるかについての広範な情報(環境情報)が必要で、経済的手段はこれを反映し、市民のコンセンサスが得られなければならない。

一般消費財を対象とした環境情報として、最近、欧米をはじめわが国でもライフサイクルアナリシス(LCA)の調査・研究が進みつつある<sup>2)</sup>。LCAとは、原料採取から廃棄に至る製品のライフサイクルを通じて、製品が環境に及ぼす影響(環境負荷)をエネルギー消費量やCO<sub>2</sub>排出量といった個々の評価項目で定量的に分析・評価するもので、製品の消費活動に伴う環境影響を評価するための情報を得ることができる。しかし、LCAは評価項目別に影響の大きさを評価するもので、複数の評価項目が関わるような製品の総合評価を行うには、例えば、環境負荷を貨幣単位に換算するなど、評価単位を一元化することも有効な方法である。

環境負荷を貨幣単位に換算して評価する方法として、環境破壊による社会的損失を被害額や修復費用で金銭的に評価する試み<sup>3)</sup>もあるが、定まった基準がなく計測者の主観に左右されるなど問題も多い。

そこで、本研究では森林破壊、環境汚染およびごみ問題などに深く関わっている紙を例に取り、その環境負荷を総合的に評価し、地球環境に配慮した消費を誘導する生態学的価格の試算方法とその有用性について報告する。

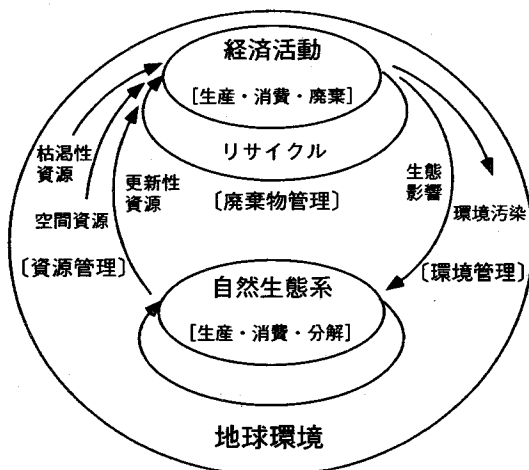


図-1 生態学的経済システムのフレームワーク

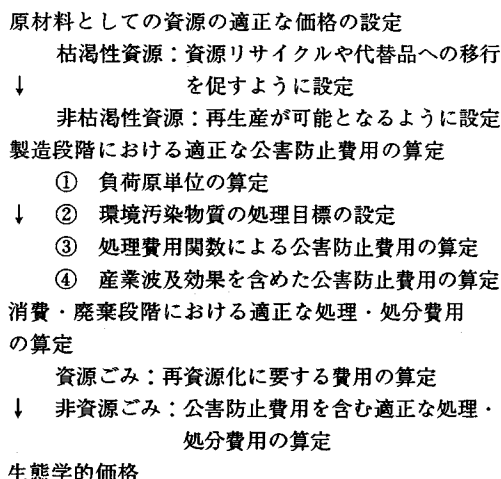


図-2 生態学的価格の試算プロセス

## 2. 生態学的価格の考え方とその意義

### (1) 生態学的経済システム

地球環境問題は、経済活動の大きな制約条件として環境や自然生態系を意識しなければ、人類の生存までもが危ぶまれることを警告している。自然生態系は生物が持つさまざまな機能によって、生物群集と無機的環境の間で動的平衡を保っているが、現在の人間の経済活動はこの自然の平衡をくずし、別の生態系へと変質させる方向に強く働いている。その結果として、地球生態系そのものまでも破壊しかねない。これを回避するには環境を共用している自然生態系と持続的な関係が保たなければならない。

図-1は自然生態系と経済活動の対比を表現したものであるが、環境との関わりからみた場合、自然の生産や物質循環に立脚した生態学的な経済活動の基本は以下のような点である。

- ① 枯渇性資源については代替やリサイクルが最大限に機能すること
- ② 非枯渇性資源については再生可能な程度に利用すること
- ③ 空間資源については他の生態系に配慮して「ほどほどの程度」とどめること
- ④ 大気、水質、土壌など環境を汚染しないようにすること

このような基本に基づいて、自然生態系に悪影響を及ぼさないように原料を調達し、製品を生産・流通・消費・廃棄する経済の体系を「生態学的経済システム」と称し、そのシステムの下で決まる製品の価格を「生態学的価格」と定義する。

### (2) 生態学的価格の試算プロセス

本研究では、生態学的価格を求める簡便法として、自然生態系に悪影響を与えないように原料を調達し、製品を生産・流通・消費・廃棄する場合にかかる費用を推定し、その費用に基づいて生態学的価格を試算した。この試算には大きく分けて2種類の作業がある。つまり、①資源・環境について生態学的に適切な管理目標（生態学的目標）を設定し、②設定された生態学的目標に対応して、原料調達、生産、流通、消費および廃棄の各段階で必要となる費用を計算する作業である。①の作業は専門家による総合的検討が必要であるが、現段階では十分にそれが行われておらず、本論文中に行った試算では、シナリオ分析的に設定条件として与えている。

実社会では、まず環境基準等に代表されるような環境目標の設定があり、次にそれに対応した規制誘導が実施され、結果として市場価格が形成される。環境目標という制約条件が与えられれば、あとは自然に市場価格が形成されることになるわけである。したがって、②の作業は規制が施行された後の価格を予想するもので、生態学的価格の中には環境悪化に対する予防費用として含まれる。図-2に製品のライフサイクルに準じた生態学的価格の試算プロセスを示す。

### (3) 生態学的価格の意義

生態学的価格の算定は、LCAの一手法であるとも考えられる。先に述べたように、LCAは製品財やサービス財のゆりかごから墓場までの環境負荷をすべてリストアップし、これによって消費者に、よ

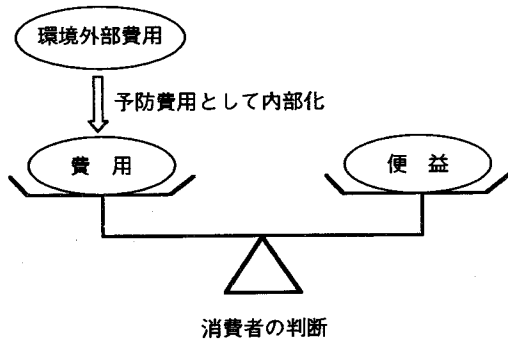


図-3 環境外部費用の内部化による環境に配慮した消費者の適正な消費行動の選択

り環境にやさしい消費行動を選択させることをねらっている<sup>9)</sup>。しかし、「紙おむつと布おむつのどちらが環境にやさしいか、前者はゴミの発生量が大きく、後者は水や電気の消費量が大きい。」などと問われても、このように評価単位が異なるものを比較して優劣を比較することは、一般の消費者に限らず、専門家でも不可能なことである。これに対して、図-3に示すように生態学的価格は、製品財やサービス財の環境外部費用を内部化することにより、それらの本来の価格を算定するものである。得られた価格とそれから期待できる便益を天秤にかけることによって、消費者は正しい消費行動がとれる。製品等の便益については消費者は経験で実感できるものであり、価格についても同様であり、消費者はあまり迷わずに選択が可能であろう。また、現在の市場価格と生態学的価格の間のギャップは環境への負荷の大きさを総合的に表していると考えられ、価格が正確に予測できれば、環境税の基礎資料としても有用である。

### 3. 産業連関分析

本章では産業連関表を利用し、製品の製造段階における生産に伴う環境負荷を推定し、これを金銭的に表現する方法について述べる。

#### (1) 産業連関表

産業連関表とは、各産業が生産物をどの産業へどれだけ売ったかという販路構成と、その産業で生産を行う際にどの産業から原料をどれだけ買ったかという費用構成を1枚の表で示したものである。環境問題の分析に応用した例として、CO<sub>2</sub>排出予測<sup>9)</sup>やエネルギー需要予測<sup>10)</sup>などがある。これらは、ある産

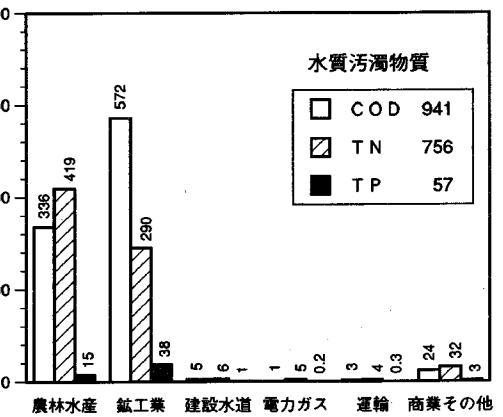
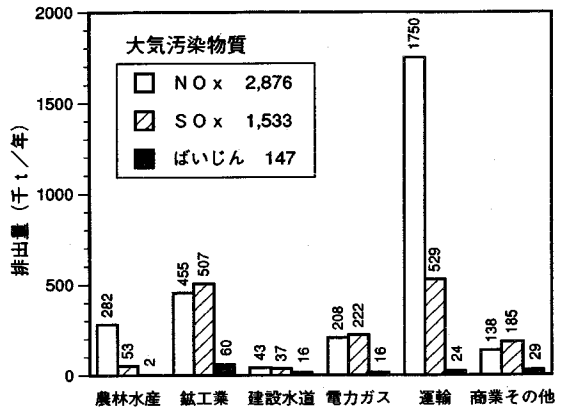


図-4 わが国の主な環境汚染物質の排出構成

業の需要が1単位（生産額として百万円）増加すれば、他の産業でもある割合で生産が誘発されるという取り引き関係を利用するもので、各産業のCO<sub>2</sub>排出原単位やエネルギー消費原単位に逆行列係数を乗じて、ある産業の生産増加に伴うCO<sub>2</sub>排出量やエネルギー消費量を推定している。

各産業の環境負荷をP、生産量あたりの環境負荷（負荷原単位）をL、生産量をXとして行列表示すれば、それぞれの関係は次式で示される。

$$P = \hat{L} X \quad (1)$$

ここで、 $\hat{L}$ は負荷原単位Lの対角行列を表す。

式(1)より求めた各産業の主な環境汚染物質の排出量を6つの産業部門に集約し、図-4に示す。

式(1)のXを各産業の最終需要量Yに逆行列係数を乗じたもので置き換えると、最終需要量あたり排出される直接・間接の負荷、すなわち、中間投入物の生産段階で排出される負荷も加えた総括的な環境負荷PTが求まる。

$$PT = \hat{L} \{I - (I + \hat{M}) A\}^{-1} Y \quad (2)$$

ここで、 $\{I - (I + \hat{M}) A\}^{-1}$ は逆行列係数と呼ばれるもので、 $I$ は単位行列、 $\hat{M}$ は輸入係数 $M$ の対角行列、 $A$ は投入係数である。

式(2)で、ある産業の最終需要を1単位とし、他の産業の最終需要を0として計算すると、当該産業の最終需要1単位あたりの総括的な環境負荷（総括的な負荷原単位）が得られる。本研究では、昭和60年産業連関表84部門表<sup>7)</sup>を簡略化した33部門産業連関表を作成し解析に用いた。

### (2) 波及効果を含む公害防止費用

最終製品の価格に含まれる公害防止費用は複雑な企業間の取り引きを反映しており、その総額を知るためには一次加工あるいは原料生産過程まで遡って調査しなければならない。本研究では、この作業に33部門産業連関表を利用した。つまり、式(2)の $L$ の代わりに生産額百万円あたりの公害防止費用 $C$ を与え、ある産業の最終需要を1単位、他の産業の最終需要を0として、当該産業の最終需要1単位あたりの総括的な公害防止費用 $CT$ を求めることができる。

$$CT = \hat{C} \{I - (I + \hat{M}) A\}^{-1} Y \quad (3)$$

ここで、 $\hat{C}$ は公害防止費用 $C$ の対角行列を表す。

式(3)で、現行の公害防止費用の代わりに生態学的目標を達成するために要する公害防止費用を与えると、生態学的経済下における最終需要1単位あたりの総括的な公害防止費用を求めることができる。各産業の公害防止費用の推定には、以下に述べる処理費用関数を用いた。

### (3) 処理費用関数による公害防止費用の推定

生態学的経済下における公害防止費用を推定する目的で、過去20年間の公害防止投資額および排出負荷量の実績値をもとに、処理費用と負荷原単位の相関を示す処理費用関数の作成を産業別に行った。

負荷原単位については、資源消費量（エネルギー、用水等）<sup>8)~10)</sup>、大気汚染物質排出量（ $NO_x$ 、 $SO_x$ 、ばいじん）<sup>11)</sup>、水質汚濁物質排出量（ $COD$ 、 $TN$ 、 $TP$ ）<sup>12)</sup>、<sup>13)</sup>および産業廃棄物排出量<sup>14)</sup>に関する各産業の過去20年間の情報を収集、あるいは推定し、各年度の生産額で除して表した。

処理費用の内、設備費については、次式を用いて耐用年数の期間に渡り、毎年同一額を返済すると仮定した毎年の返済金額 $R$ を求め、ある年度における設備費はその年度における返済金額の合計とした。

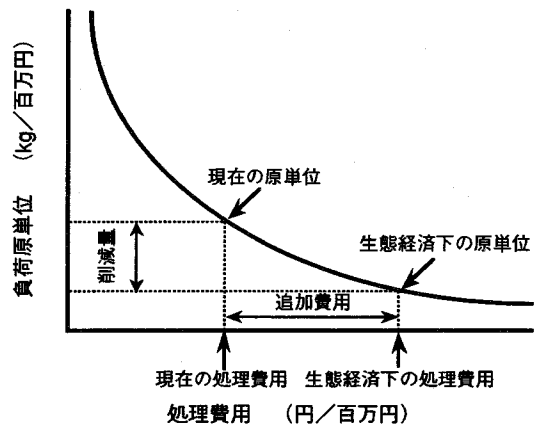


図-5 費用関数による処理費用の推定

$$R = P \cdot \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (4)$$

ここで、 $\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$ の部分は資本回収係数と呼ばれるもので、 $P$ は各年度における公害防止投資額、 $i$ は利率（7%）、 $n$ は返済年数（大気関係10年、水質関係15年）である。維持管理費については、設備費に一定率を掛けて10年間にわたって要するものと考えた。一定率は、維持管理費が設備費の30%に相当するように大気関係では0.21、水質関係では0.18を用いた。

以上の方法によって求めた各年度の処理費用と負荷原単位の実績値について回帰計算を行い、数値の当てはまりの良さから、各産業について次式に示すようなべき乗関数型の処理費用関数を求めた。

$$Y = a \cdot X^b \quad (5)$$

ここで、 $Y$ は生産額あたりの排出負荷量（負荷原単位）、 $X$ は生産額あたりの処理費用、 $a$ および $b$ は産業によって異なる係数である。

図-5で模式的に示すように、現在の負荷原単位に対応する処理費用と、生態学的経済下の負荷原単位に対応する処理費用との差が追加費用となる。

## 4. 大気および水質の処理目標

自然生態系に悪影響を与えないレベルとはどの程度のレベルなのか、生態学的経済下の公害防止費用

を算定するには環境汚染物質の処理目標を設定しなければならない。本章では、まず、大気汚染および水質汚濁の主要な環境汚染因子について総合指標化を行い、その後、生態学的な処理目標について検討を行った。

### (1) 環境汚染因子の総合指標化

大気汚染の主要な汚染因子として、窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)、硫黄酸化物(SO<sub>x</sub>)およびばいじんの3項目を選び、次式に示す大気汚染指標(API)で総合指標化を行った。

$$API \text{ (mg/Nm}^3\text{)} = NO_x + SO_x + \text{ばいじん} \quad (6)$$

ここで、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>およびばいじんの環境基準がそれぞれ0.05ppm(NO<sub>2</sub>として0.10mg/Nm<sup>3</sup>)、0.04ppm(SO<sub>2</sub>として0.11mg/Nm<sup>3</sup>)および0.10mg/Nm<sup>3</sup>であることから、ほぼ同程度の重みがあると判断し、それぞれの係数を1とした。

水質汚濁の主要な汚濁因子として、化学的酸素要求量(COD)、全窒素(TN)および全リン(TP)の3項目を選び、次式に示す全酸素要求量(TOD)で総合指標化を行った。

$$TOD(\text{g/m}^3) = 3COD + (19.7TN + 143TP) / 2 \quad (7)$$

式(7)の各係数は、植物プランクトンの平均的組成(TOD:TN:TP=143:7.3:1)を用い、変換率を1とし、TNとTPより同じ植物プランクトンが構成されるので重複を避けるため2で除している。また、COD<sub>NS</sub>の酸化率は1/3とした。

### (2) 生態学的な処理目標

生態学的な処理目標として、ある程度の自浄作用を考慮し、バックグラウンドに近い排出基準値を設定した。なお、排気量および排水量は現在と変わらないものと仮定した。

水質については、河川水あるいは湖沼水に対する水道1級程度の基準値であるCOD 1.0mg/l以下、TN 0.2mg/l以下、TP 0.01mg/l以下<sup>19)</sup>が適当と判断し、式(7)よりTODとしての排出基準値を5.7mg/lに設定した。大気については、現在まで処理目標に関する明確な論拠を得ていない。そこで、表-1に示すように、水質の処理目標に対応するTODの総排出量が現在の14,358千tから479千tと約1/30になることから、大気についても同程度の削減割合を想定し、処理目標に対応するAPIの総排出量を183.3千tに設定した。この値より濃度を逆算し、APIとしての排出基準値

表-1 生態学的な処理目標の達成による汚染物質排出量

	千t/年			
	API排出量		TOD排出量	
	現在	目標	現在	目標
農林水産部門	336	3.5	6,186	367.9
鉱工業部門	1,022	68.6	7,320	99.3
建設水道部門	96	10.1	120	1.7
電力ガス部門	447	55.6	69	0.8
運輸部門	2,303	28.7	65	0.9
商業その他	351	16.8	598	8.7
産業合計	4,555	183.3	14,358	479.3

45 mg/Nm<sup>3</sup>を求めた。この値は現在の環境基準1日平均値(NO<sub>2</sub> 0.10mg/Nm<sup>3</sup>以下、SO<sub>2</sub> 0.11mg/Nm<sup>3</sup>以下、ばいじん 0.10mg/Nm<sup>3</sup>以下)の約150倍の濃度に相当する。

これらの処理目標を達成するために要する費用を、先に述べた処理費用関数に外挿して推定する。外挿によって、生態学的経済下の処理費用を推定することは、製造プロセスの転換による対策や処理技術開発の不連続性を考慮すれば、実際的でない面がある。しかし、これらの将来予測は困難で、現段階では外挿法によることとする。

## 5. 紙の生態学的価格の試算

昭和60年の紙の生産量20.5×10<sup>6</sup>tの58%が紙で、残り42%が板紙である<sup>16)</sup>。紙の木材パルプの消費率は76%であり、純粋に木材パルプ100%の紙の生産量は全体の4割程度と推定される。紙の生産者価格は製造工場の規模・工程・製法および製品の用途によりさまざまであるが、工場での聞き取り調査によると紙1kgあたりほぼ150円ということであった。本章では木材を原料として紙を生産する場合、つまり、処女紙を生産する場合を想定しているが、統計の制約上、板紙や再生紙等が含まれる場合もある。

以下に、図-2で示した生態学的価格の試算プロセスに従って、その詳細を述べる。なお、生産額および処理費などは、昭和60年を基準年として物価補正を行った。

### (1) 原木価格

#### a) 現行の原木価格

パルプ原料の木材の価格は、チップ工場への出荷価格(資料:広島県三次市T木材)として針葉樹16円/kg(絶乾)、広葉樹20円/kg(絶乾)である。パルプの原料割合を針葉樹:広葉樹=1:1と仮定する

と、原木価格は18円/kg(絶乾)となる。さらに、チップ工場での歩留まりやマージンを考慮すると、現行の紙1kgあたりの原木価格は約23円となる。

#### b) 生態学的経済下の原木価格

現在、製材や合板などの製品を含んだ木材の輸入依存率は7割を越えており、現実的には輸入を抜きに論じることはできないが、生態学的にみれば国内で原木を閉じて賄うことが理想的である。森林の純生産量と日本の森林面積から木材資源量と需要量のバランスを考えると、輸入木製品を含む木材需要量約1.0億 $m^3$ /年<sup>17)</sup>に対して、森林の平均的純生産量14 $m^3$ /ha/年<sup>18)</sup>から推定される木材資源量が3.5億 $m^3$ /年で、国内で原木を調達することは不可能なことではない。近年、木材の輸入と併せて現地で植林を実施するなど環境に配慮した事業が行われているが、現地の天然林を改変し、土壌を収奪していることには違いない。また、国土の保全に中山間地域の管理が大きな役割を果たしており、健全な林業の存在はわが国の自然の保全にとっても必要なことである。これらを考えあわせ、国内林業から原木を自給するという資源利用目標を設定し、原木の生態学的価格として国内林業の持続できる原木価格を求めた。

まず、育林費用からの解析<sup>19)</sup>では、現在の50年杉の山元価格14,000円/ $m^3$ であるのに対して、採算がとれる価格は32,000円/ $m^3$ で、この場合は2.3倍の価格である必要がある。次に、必ずしも農家は自立的とは言えず、また、どちらもやや現実的な値から少ない感じがするが、農家所得と林家所得の比較<sup>20)</sup>から3.7倍の所得が必要であると考えられる。また、自立経営のできる規模が現在の100haに対し、木材の輸入が少なかった昭和30年代のそれは50haであることから<sup>21)</sup>、2倍の価格である必要がある。最後に、スギ1 $m^3$ の価格で何人の林業労働者が雇えるかを平均賃金で試算した人口扶養力<sup>22)</sup>より、昭和31年の10.1人/ $m^3$ に対して平成2年は1.4人/ $m^3$ であることから7.2倍の価格である必要がある。

これらを参考に、国内林業の持続可能な原木価格としては、一応、現行23円/kgの5倍程度になると考え、原木の生態学的価格を115円/kgとした。

### (2) エネルギー費用

#### a) 現行のエネルギー費用

パルプ紙産業のエネルギー消費原単位は15,850×10<sup>3</sup>kcal/百万円である。パルプ紙産業以外にも林業、電力供給業、運輸業および廃棄物処理業などさまざまな産業で、紙の生産に伴って間接的にエネルギーが消費される。先に述べたように、式(2)を用いて波

及効果を含めた紙1単位の生産に係わる総合的なエネルギー消費原単位を求めると33,945×10<sup>3</sup>kcal/百万円となった。紙の単価を150円/kgとすると、紙1kgあたりのエネルギー消費量は5.1×10<sup>3</sup>kcalと計算される。そこで、現在の重油単価4.9円/10<sup>3</sup>kcal<sup>23)</sup>をエネルギーの平均的な価格として、紙1kgあたりのエネルギー費用を計算すると25円となった。

#### b) 生態学的経済下のエネルギー費用

エネルギー消費に関して生態学的な見方をすると、石油等の化石燃料から水力や太陽エネルギーなどの再生可能なエネルギーへの代替を促すようなエネルギーの価格付けが必要である。伊原ら<sup>24)</sup>は線形計画法を用いてCO<sub>2</sub>排出抑制の技術的方策を分析しており、炭素排出の課徴金に相当するペナルティー係数を70\$/t-CO<sub>2</sub>に設定した場合、CO<sub>2</sub>排出抑制が進むと同時にエネルギー利用形態が太陽発電などの自然エネルギーへ移行することを予測している。このペナルティー係数は、1\$=130円のレートで円に換算し、重油のCO<sub>2</sub>排出係数を306.1kg-CO<sub>2</sub>/10<sup>6</sup>kcalとすると2.8円/10<sup>3</sup>kcalとなる。そこで、このペナルティー係数を現行のエネルギー価格(重油単価)に上乗せした7.7円/10<sup>3</sup>kcalをエネルギーの生態学的価格とした。

したがって、生態学的経済下における紙1kgあたりのエネルギー費用は、エネルギーの生態学的価格にエネルギー消費量5.1×10<sup>3</sup>kcal/kgを乗じて39円と試算された。

### (3) 大気および水質に関する公害防止費用

#### a) 現行の公害防止費用

パルプ紙産業の直接の負荷原単位は、大気汚染物質がAPIとして23.0kg/百万円、水質汚濁物質がTODとして53.0kg/百万円である。式(2)を用いて紙1単位の生産に係わる総合的な負荷原単位を求めると、APIが47.9kg/百万円、TODが94.1kg/百万円となった。紙の単価を150円/kgとすれば、紙1kgあたり大気汚染物質7.2g、水質汚濁物質14gが排出されているという計算になる。

統計資料より求めた現行の公害防止費用を基に、式(3)より紙1単位(百万円)の生産に伴う総合的な公害防止費用を算出し表-2に示す。大気と水質を合わせた現行の総合的な公害防止費用は2.7万円で、紙の単価を150円/kgとすれば、紙1kgあたりの公害防止費用は4円と計算される。しかし、パルプと紙を製造するG工場での聞き取り調査によると、大気および水質関係の公害防止費用は紙1kgあたり8円程度ということであった。そこで、若干の補正を行うこと

表-2 紙1単位（百万円）あたりの総合的な公害防止費用

	円/百万円					
	大気汚染			水質汚濁		
	API 総合的処理費用			TOD 総合的処理費用		
	現在	目標	追加	現在	目標	追加
農林水産業	3	1,778	1,775	0	0	0
鉱業	15	420	405	144	514	370
食料品	1	127	126	78	505	427
飲料・飼料・たばこ	1	65	64	15	125	111
繊維工業製品	1	142	141	159	642	483
衣服・その他の繊維	0	23	22	4	19	16
製材・木製品	2	156	154	262	1,229	967
家具・装飾品	0	8	8	3	15	12
パルプ・紙	3,233	262,533	259,300	16,231	41,435	25,204
紙加工品・出版印刷	4	366	362	238	880	643
化学製品	108	6,571	6,463	875	4,933	4,058
石油・石炭製品	517	9,418	8,901	495	14,597	14,102
ゴム製品	0	17	17	11	41	31
なめし革・毛皮	0	2	2	1	8	7
窯業・土石製品	4	483	479	3	232	229
鉄鋼	108	1,817	1,709	77	94	18
非鉄金属	1	132	130	12	658	646
金属製品	5	94	89	38	3,730	3,692
機械	6	219	213	44	276	232
その他の製造工業	1	99	98	145	429	285
建設	6	81	75	12	55	43
電力・ガス・熱供給	3,620	65,522	61,902	177	858	681
水道・廃棄物処理	58	1,466	1,407	11	48	37
商業	21	728	707	124	564	440
金融・保険	6	48	42	63	286	223
不動産	2	15	13	3	11	9
運輸	41	18,226	18,185	102	464	362
通信・放送	2	40	38	8	35	27
公務	0	14	14	1	7	5
教育・研究・医療	3	316	312	22	100	78
サービス業	14	618	604	45	205	160
事務用品	0	0	0	0	0	0
分類不明	10	1,449	1,439	1	4	3
内生部門計	7,795	372,993	365,198	19,402	73,004	53,602

として、波及効果を含めた紙1kgあたりの現行の公害防止費用は9円と推定された。

#### b) 生態学的経済下の公害防止費用

4章で述べたように、APIおよびTODの処理目標をそれぞれ45mg/Nm<sup>3</sup>および5.7mg/lに設定し、処理費用関数を用いて各産業の生態学的経済下の公害防止費用を推定した。これをもとに式(3)を用いて紙1単位の生産に伴う総合的な公害防止費用を算出した結果、表-2に示すように大気関係が37.3万円、水質関係が7.3万円に合わせて44.6万円となった。紙の単価を150円/kgとすると、生態学的経済下の大気および水質に関する紙1kgあたりの公害防止費用は67円となる。

#### (4) 産業廃棄物処理費用

##### a) 現行の産業廃棄物処理費用

パルプ紙産業の産業廃棄物の負荷原単位は334kg/百万円であるが、式(2)を用いて波及効果を考慮した総合的な負荷原単位を求めると736kg/百万円となる。これに現在の平均的な産業廃棄物処理単価1万円/tを乗じて処理費用を求めると7,360円/百万円となる。紙の単価を150円/kgとして、紙1kgあたりに換算すると約1.1円である。

##### b) 生態学的経済下の産業廃棄物処理費用

廃棄物を環境中に排出する限り、自然生態系に何らかの影響を及ぼす。したがって、廃棄物を極力資源として再利用することが基本となるが、再資源化が困難なものについては大気や水質で行ったような処理目標の設定が必要となる。しかし、現段階では詳しい情報が得られていないので、廃棄物が建設資材として再利用可能な性状であると仮定して、以下のような試算を行った。下水の汚泥処理に関する情報として、脱水ケーキ埋立処分と焼却・溶融処理の費用比較<sup>25)</sup>より、5万円/tを分岐点として焼却・溶融処理のメリットが生じ、有効利用へ移行すると考えられている。そこで、現段階では5万円/t、つまり現行の5倍を生態学的経済下における廃棄物の処理単価とし、総合的な産業廃棄物処理費用を求めると紙1kgあたり約5.5円となった。

#### (5) 紙ごみ処理費用

##### a) 現行の紙ごみ処理費用

人口約17万人の宇部市（山口県）を例に、紙ごみの処理についての費用分析を行った<sup>26)</sup>。同市では2種分別収集（可燃ごみ・不燃ごみ）を市の直営で行っており、可燃ごみは焼却工場に、不燃ごみは埋め立て処分場にそれぞれ搬入されている。焼却施設の焼却能力は420 t/日で、年平均稼働率は67%である。平成元年度における年間のごみ処理量70,612 tの内訳は可燃ごみが72%、不燃ごみが28%であった。不燃ごみには紙類が含まれていないものとし、可燃ごみの収集ごみ（家庭ごみ）に29.2%、搬入ごみ（事業系ごみ）に50.0%の割合で紙類が含まれるとすると、紙ごみの年間処理量は16,414 tと推定された。また、廃棄された紙類が紙ごみとして収集運搬、焼却処理、埋立処分という過程を経る場合の紙ごみ1 tあたりの処理費用は、次のように計算された。

$$\begin{aligned} & \text{収集費用} + \text{焼却費用} + \text{埋立費用} \\ & = 22,418 + 8,054 + 30 = 30,502 \text{ (円/t)} \quad (8) \end{aligned}$$

ここで、収集費用は紙ごみのかさ比重を1.4とし、埋立費用は埋立焼却灰383 t (=19,993-19,610)における紙類の寄与率を32.2%（収集ごみと搬入ごみの加重平均値）として、それぞれ計算した。

最近では、費用低減を目的に収集運搬業務を民間業者に委託している市町村も一部にみられるが、大部分のところでは直営で行っており、この試算結果は紙ごみの平均的な処理費用と考えられる。ただし、この処理費は消費者にとって直接的な負担となっておらず、現行の紙の価格には含まれていない。

表-3 生態学的な経済活動の基本事項と紙の生態学的価格の試算に用いた設定条件

基本事項		設定条件
原木	再生可能な程度の利用	国内林業の持続的経営
エネルギー	自然エネルギーへの代替	化石燃料に対するペナルティー
大気・水質	環境を汚染しない	バックグラウンドに近いレベルまで処理
廃棄物	環境を汚染しない	建設資材として再利用

表-4 紙の生態学的価格の試算結果

	円/kg-紙	
	現行	生態学的経済下
原木価格	23	115
エネルギー費用	25	39
公害防止費用	9	67
産業廃棄物処理費用	1.1	5.5
紙ごみ処理費用	0	72.4
その他の費用等	91.9	91.9
合計	150	390.8

#### b) 生態学的経済下の紙ごみ処理費用

現在、紙ごみ処理費用は税金で賄われており、一般消費者は後始末の問題をほとんど意識することなく紙を消費することができる。そのことが現在の大量消費に拍車を駆けていると言っても決して過言ではない。紙の原料として原木を利用することは、結果的にその利用量に応じた紙ごみの発生を伴うのであるから、本来は利用者がその責任を負うべきことである。そこで、紙の生態学的価格には紙ごみ処理費用も含むこととし、公害を発生しない適正な紙ごみ処理費用と埋立に伴う土地の占有に対する費用を生態学的経済下の紙ごみ処理費用として考える必要がある。ただし、現段階では詳しい情報が得られていないので、先の産業廃棄物の場合と同様に、生態学的経済下の処理単価を5万円/tと仮定した。これに(8)式の収集費用22.4円/kgのみを加算すると紙ごみ1kgあたり72.4円と試算された。

#### (6) 試算のまとめ

表-3に紙の生態学的価格を試算するための設定条件と2章で述べた生態学的な経済活動の基本事項とを対比して示す。また、紙の生態学的価格の試算結果を表-4に示した。その他の費用は現在の紙の価格150円/kgから原木価格、エネルギー費用、公害防止

費用および産業廃棄物処理費用を除く、人件費や製造設備費などの製造費用で、生態学的経済下においてもこの費用は変わらないと仮定して生態学的価格を推定した。つまり、原木価格115円/kg、公害防止費用67円/kg、エネルギー費用39円/kgおよび産業廃棄物処理費用5.5円/kgに、その他の費用91.9円/kg(=150-23-9-25-1.1)を合計すると318.4円/kgとなる。さらに、紙ごみの処理費用72.4円/kgを加えて、紙の生態学的価格は現行価格の2.6倍にあたる390.8円/kgと試算された。

#### 6. 生態学的価格による処女紙と再生紙の比較

処女紙より再生紙が環境にやさしいと言っても、森林破壊やごみ問題など個々の事象に照らした相対評価で、総合的にどの程度環境にやさしいかが消費者には理解できない。加えて、小売り価格で再生紙より処女紙の方が遥かに安いという現状においては、再生紙の利用促進はますます困難である。本章では前章に続き再生紙の生態学的価格を求め、処女紙との比較から再生紙がどの程度環境にとって好ましいかを定量的に評価し、生態学的経済下での購買予測を行った。

##### (1) 古紙価格

現在、新聞・雑誌の回収は市民のボランティアによる集団回収が中心で、古紙価格の低迷からチリ紙交換は影をひそめている。古紙のように再生利用可能な資源は積極的に利用されるべきで、そのためにはチリ紙交換等のリサイクル産業の経営が成り立っていかなければならない。チリ紙交換の成り立つ新聞・雑誌の工場到着価格は22円/kgといわれている<sup>27)</sup>。これは現行の新聞・雑誌価格17円/kgの1.3倍に相当する。再生紙の原料に使用されている古紙は上白、中白、模造、色上、新聞、雑誌、段ボールと種類が多く、価格も14~60円/kgと古紙の種類によってさまざまであるが、現在の使用状況から古紙の平均価格を算定すると22円/kgとなる。そこで、リサイクル産業の経営が成り立つ古紙価格を28.6円/kg(=22×1.3)と仮定し、これに市民の仕分け回収の労賃5円/kg(推定)や燃料の生態学的経済下の追加費用2円/kgを加算し、再生紙パルプの歩留まりを80%とすると、生態学的経済下の古紙価格は44.5円/kgと推定される。

##### (2) 再生紙の生態学的価格

現在、市場には古紙配合率10~100%の様々な種類の再生紙が出回っている<sup>28)</sup>が、以下では100%古紙



表-5 再生紙の生態学的価格の試算結果

	円/kg-紙	
	現行	生態学的経済下
古紙価格	22	45
エネルギー費用	32.5	51.1
公害防止費用	9	67
産業廃棄物処理費用	1.1	5.5
その他の費用等	85.4	85.4
合計	150	254

を利用する場合について試算を行った。

先にも述べたが、小売り価格で比べると再生紙は処女紙より割高である。その主な原因は生産量や製品の流通システムの違いにあり、特に品質を要求しないのであれば、生産者価格に大きな違いはないと思われる。森澤<sup>29)</sup>は、白色度60のケースで処女紙原料のリファイナークラウドパルプ(RGP)と再生紙原料の脱墨パルプ(DIP)の生産費を比較している。これによると、原料費などの比例費や固定費のうちの金利・償却費に大きな差は見られなかった。したがって、現行の再生紙の生産者価格を処女紙と同じ150円/kgと仮定して以下の試算を行った。

再生紙1kgあたりのエネルギーの消費量は、古紙脱墨パルプ工程で1,081kcal、製紙工程で3,510kcalである。さらに、パルプ紙産業以外の産業での消費量を加えると6,630kcalとなる。処女紙の場合と同様に現行のエネルギー価格を4.9円/10<sup>3</sup>kcal(重油単価)とすると、再生紙1kgあたりのエネルギー費用は32.5円となった。また、生態学的経済下のエネルギー費用は、エネルギーの生態学的価格7.7円/10<sup>3</sup>kcalより、再生紙1kgあたり51.1円となった。

再生紙トイレットペーパーを製造しているB工場での聞き取り調査によると、公害防止費用は7円/kgで、処女紙と比べて大差はなかった。また、産業廃棄物についても、古紙パルプの歩留まりが80%程度と処女パルプとあまり変わらないので、共に表-4の処女紙の試算値をそのまま用いることとした。なお、その他の費用は表-4の試算と同様に、生態学的経済下においても現行と変わらないと仮定した。

現実とは合致しないが、社会全体として再生紙を利用し続ける限り紙ごみは発生しない。処女紙として紙を市場に新たに供給することで、需要を上回った量が紙ごみとして環境に排出されることになる。したがって、紙ごみ処理費用は処女紙に含め、再生紙には含めないこととした。

以上より、表-5に示すように再生紙の生態学的価格は、現行価格の1.7倍の254円/kgと推定された。処女紙の生態学的価格が391円/kgであったので、両者

の比較から再生紙の方が環境にとって好ましいと判断される。

### (3) 生態学的経済下における購買の予測

著者らは、別に消費者が処女紙と再生紙の品質をどのように評価しているのかをアンケート調査<sup>30)</sup>した。調査は一般主婦が対象で、857件(回収率42.4%)の回答が得られた。質問は処女紙と再生紙を用いた2種類のトイレットペーパーを提示し、相対的な値段を回答してもらうというもので、結果は処女紙の100に対して再生紙が78.7というものであった。現在の小売り価格は12ロールあたり、処女紙が600円、再生紙が500円である。調査結果によると470円(=600×0.787)以下でなければ再生紙を購入する動機とはならず、現状では再生紙は処女紙に対して競争力で劣っている。しかし、製造単価を両者ともに300円と仮定して、生態学的価格を推定すると処女紙は1,080円(=300×2.6+300)で、再生紙は710円(=300×1.7+200)となる。処女紙に対する再生紙の品質の相対評価78.7より、消費者が考える再生紙の価格は850円(=1,080×0.787)なので、再生紙の購買が大きく促進されるという結果をもたらす。流通マージンを両者とも公平に300円に設定しても再生紙は810円で、処女紙に対して十分な競争力を持つことができる。

## 7. まとめ

自然生態系に悪影響を与えないように製品を生産、流通、消費および廃棄することを目指す経済体系を生態学的経済システムとし、この下で決まる製品の価格を生態学的価格と定義した。本研究では紙を例に、以下のような方法で生態学的価格を試算した。

- ① 原木は国内で賄うことを条件とし、林業の持続的経営に要する費用から原木の生態学的価格を設定した。
- ② 石油・石炭等のエネルギー消費については、現行価格にCO<sub>2</sub>のペナルティー係数を加算した。
- ③ パルプ・紙の製造段階では環境に悪影響を及ぼさないように、全産業で環境対策を講じることを条件とし、大気・水質についてバックグラウンドに近い排出基準の達成に要する費用を推定した。産業廃棄物は、建設資材として再利用する場合を仮定し、そのための費用を求めた。
- ④ 紙ごみの処理費用は、産業廃棄物の場合と同様に再利用に要する費用と、紙ごみの収集に要する費用から求めた。

以上の検討を総合すると、紙の生態学的価格は現行価格150円/kgの2.6倍の391円/kgとなった。この価格を処女紙の生態学的価格とし、再生紙の生態学的価格と比較したところ、再生紙が環境にとって好ましいことが明らかとなった。

現段階では、計算精度の向上や他製品へのケース拡大など多くの課題が残されているが、従来外部不経済として扱われていた事柄を内部化した生態学的価格は、環境教育の材料としても有効な総合指標であると考えている。

謝辞：本研究を進めるに際し、宇部短期大学助教授藤井美知子氏、広島林業試験場寺田公治氏、宇部市役所小林真治氏、九州大学石炭研究センター外川健一氏、山口県産業廃棄物協会磯野昭三氏より有益なご助言を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

本研究は文部省科学研究費重点領域研究「高度技術社会のバースペクティブ」(No.04210121, No.05201108)の補助によって行われた。

#### 資料および参考文献

- 1) 例えば、石弘 光編：環境税，東洋経済新報社，5p., 1993.
- 2) 例えば、未踏科学技術協会，エコマテリアル研究会編：LCAのすべて—環境への負荷を評価する—，工業調査会，1995.
- 3) 例えば、植田和弘・落合仁司・北畠佳房・寺西俊一：環境経済学，有斐閣，pp.85-102, 1991.
- 4) 高月紘：環境にやさしい暮らし—コスト比較試算—，廃棄物学会誌，Vol.2, pp.143-148, 1991.
- 5) 例えば、森口祐一・近藤美則・清水浩：わが国における部門別・起源別CO<sub>2</sub>排出量の推計，エネルギー・資源，Vol.14, No.1, pp.32-41, 1993.
- 6) 例えば、辻明宏：エネルギー分析，エネルギー・資源，Vol.10, No.3, pp.61-69, 1989.
- 7) 総務庁編：昭和60年産業連関表，全国統計協会連合会，1989.
- 8) 通商産業大臣官房調査統計部編：昭和60年工業統計表（品目編），大蔵省印刷局，1987.
- 9) 通商産業大臣官房調査統計部編：昭和62年工業統計表（用地・用水編），大蔵省印刷局，1989.

- 10) 通商産業大臣官房調査統計部編：平成2年石油等消費動態統計年報（製造工業），通産統計協会，1991.
- 11) 吉岡完治・早見均：環境分析のための産業連関表の作成とその応用，『高度技術の導入と国際社会の構造的安定性』科学研究費研究成果報告書，pp.41-117, 1993.
- 12) 中国地方経済連合会瀬戸内海利用開発会議汚染専門委員会：瀬戸内海海域の汚染負荷解析，1972.
- 13) 日本水産資源保護協会：瀬戸内海漁場適正栄養レベル検討事業報告書（第2報），1991.
- 14) 厚生省生活衛生局水道環境部環境整備課：日本の廃棄物処理（平成元年版），1991.
- 15) 例えば、浮田正夫・中西 弘・関根雅彦・城田久岳：低密度地域の生活排水処理方式の選択に関する考察，環境システム研究，Vol.20, pp.9-17, 1992.
- 16) 通商産業大臣官房調査統計部編：昭和63年紙・パルプ統計年報，通産統計協会，1989.
- 17) 林野庁監修：図説林業白書（平成元年度版），農林統計協会，123p., 1990.
- 18) 四手井綱英：森林の価値（環境科学叢書），共立出版，110p., 1974.
- 19) 農林水産省経済局統計情報部編：昭和61年度育林費調査報告，農林統計協会，1988.
- 20) 農林水産省経済局統計情報部編：ポケット農林水産統計（平成2年版），農林統計協会，1990.
- 21) 農林漁業金融公庫編：林業の採算性と活性化，122p., 1987.
- 22) 林野庁監修：図説林業白書（平成3年度版），農林統計協会，16p., 1992.
- 23) 日本エネルギー経済研究所：EDMC/エネルギー・経済統計要覧（94年版），省エネルギーセンター，1994.
- 24) 伊原征治郎・小山茂夫：CO<sub>2</sub>排出抑制のエネルギーシステムへの影響，システム/制御/情報，Vol.35, No.9, pp.555-562, 1991.
- 25) 中西 弘（研究代表）：下水道整備に係わる総合指標に関する研究，第13回研究会資料（未公開），1993.
- 26) 宇部市環境部環境保全センター：平成2年度清掃事業概要，1991.
- 27) リサイクル文化編集部：古紙の流通と価格形成のしくみ，リサイクル文化第18号，星雲社，pp.50-55, 1987.
- 28) 例えば、紙業タイムス社：紙のリサイクルと再生紙—地球にやさしい紙パルプ産業—，pp.152-168, 1992.
- 29) 森澤真輔：高度循環型社会・技術システムの展望（紙の利用と紙廃棄物処理を例にして），平成3年度科学研究費補助金研究成果報告書，pp.46-48, 1992.
- 30) 浮田正夫・城田久岳・藤井美知子：『環境に配慮した市民の消費行動』アンケート調査報告書，1994.

(1994.9.5 受付)

## RESEARCH ON ECOLOGICAL PRICE OF PAPER

Hisatake SHIROTA, Masao UKITA and Hiroshi NAKANISHI

The concept of the ecological economy system is proposed taking the price of paper as an example. The ecological cost is defined as such cost as decided when we produce, consume and dispose any goods without deteriorating ecosystems. The ecological price of paper is determined on ecological goals by the estimation of raw wood price, energy cost, pollution prevention cost, the expense for the industrial waste disposal and paper refuse disposal, that is about 2.6 times the present price of paper. Determinations of the ecological price have disclosed the recycled paper is preferred to the vergin paper under the ecological economy system.