特集「産業連関表の応用」 ■

研究論文

廃棄物産業連関モデルによる消費者行動の分析：所得と生活時間を考慮した環境負荷の計測

高瀬 浩二・近藤 康之・鷺津 明由

An analysis of consumers' behavior by the waste input-output model: Environmental impact of income and time use

Koji TAKASE, Yasushi KONDO and Ayu WASHIZU

Synopsis: This paper proposes a new model for evaluating the environmental impacts of consumption. The new model is developed by integrating existing ones: the waste input-output (WIO) model and one of the economics models describing consumer's behavior. A notable feature of the economics model is that a consumption activity is regarded as the operation of the corresponding consumption "technology." Because a consumption "technology" produces consumer's utility (or satisfaction) by taking not only goods and services but also time as its inputs, the new model can be used to take account of the so-called rebound effects with regard to both income and time. Applying the developed model to the Japanese data (the WIO table 2000, the household expenditure survey and the survey on time-use), we found that some typical scenarios of alleged sustainable consumption are environmentally sound more than the observed consumption pattern as of 2000.

Key Words: Waste input-output model, Economics model of consumer's behavior, Sustainable consumption, Rebound effect, Time use

1. はじめに

財の生産は、我々の生活を維持するために行われるものである。したがって、生産による環境負荷の排出も、消費者の行動に起因することになる。そのため、持続可能な社会の実現を目指して、産業界での「持続可能な生産」への取り組みとともに、消費者を「持続可能な消費」へと誘導することが重要視されている¹⁾。消費者が自らの行動を環境への配慮の観点から自己診断する仕組みは環境家計簿と総称される。環境家計簿は、消費者への啓蒙の色彩が強いが、その作成には、一般家庭でのある財の消費により直接排出される環境負荷だけでなく、その財の生産・流通・輸送等の過程で排出される環境負荷を含めることが必要である。家計が直接・間接に誘発する環境負荷を容易に計測できる点が、産業連関モデル(input-output model, IOモデル)による環境家計簿の利点の一つである。著者の一人は、以前からIOモデルによる環境家計簿の作成に取り組んできた²⁾。

我々の生活からは不可避免的に廃棄物が排出される。また、我々の生活を支えるために行われる生産においても同様に

廃棄物が排出される。経済全体の環境負荷を計測するためには、廃棄物処理・処分過程での環境負荷の排出をも考慮する必要がある。財(金額)の流れだけでなく、廃棄物(物量)の流れおよびそれらの相互関係を把握できるようにIOモデルを拡張したものが、廃棄物産業連関モデル(waste input-output model, WIOモデル)である^{3, 4)}。WIOモデルを用いれば、廃棄物の発生・処理・処分過程を含めた消費者行動の分析が可能となる。WIOを用いた消費者行動の分析には、高瀬他^{5, 6)}があるが、そこでは、消費者行動の制約として、もっぱら消費の金銭的な側面を考慮した分析を行っている。しかし、消費行動の制約となるのは、所得だけではない。消費者は、同時に、限られた時間の中でどのような消費行動をとるかの選択も行っている。したがって、消費者行動の分析には、所得制約だけでなく時間制約も同時に考慮する必要がある。この観点から、本論では、新たな分析モデルを開発する。本論で提唱するモデルを用いたシナリオ分析では、消費パターンの変化前と変化後で、総費用と必要時間を一定に保つように各消費技術の稼働水準を変化させることができる。したがって、所得に関する

高瀬 浩二／静岡大学 人文学部／〒422-8529 静岡県静岡市駿河区大谷836

近藤 康之／早稲田大学 政治経済学術院／〒169-8050 東京都新宿区西早稲田1-6-1

鷺津 明由／早稲田大学 社会科学総合学術院／〒169-8050 東京都新宿区西早稲田1-6-1

Koji TAKASE / Faculty of Humanities and Social Sciences, Shizuoka University / 836 Ohya, Suruga-ku, Shizuoka, 422-8529

Yasushi KONDO / Faculty of Political Science and Economics, Waseda University / 1-6-1 Nishi-waseda, Shinjuku-ku, Tokyo, 169-8050

Ayu WASHIZU / Faculty of Social Sciences, Waseda University / 1-6-1 Nishi-waseda, Shinjuku-ku, Tokyo, 169-8050

リバウンド効果と時間に関するリバウンド効果¹⁾を考慮した上で、両消費パターンが直接・間接に誘発する環境負荷を比較することが出来る。

本論の目的は、(1) WIOを用いた消費財のLCI分析を行うこと、(2) 所得と時間に関するリバウンド効果を考慮するモデルを開発すること、(3) 日本の平均的家庭についてシナリオ分析を行うことである。第2節で分析モデルについて解説する。まずは、基本的なWIOモデルの概略を示し、消費者行動分析への拡張を図る。次にリバウンド効果について解説を加え、所得と時間制約に直面した消費者モデルを導入する。第3節で、このモデルを用いたシナリオ分析を行う。第4節は結語を与える。

2. モデル

分析に用いるモデルは2つのサブモデルから構成される。1つ目のサブモデルは廃棄物産業連関(WIO)モデルであり、もう一方は消費者モデルである。

2.1 廃棄物産業連関モデル

消費者行動に起因する環境負荷の分析には、直接効果と間接効果を適切に評価するべきであることが良く知られている。直接効果には、家庭での暖房や炊事での化石燃料の燃焼や自家用車の運転により排出される環境負荷が含まれる。一方、間接効果には、家計が消費する財の生産(原料採掘を含む)や輸送・流通の過程で排出される環境負荷が含まれる。伝統的な産業連関モデル(IOモデル)を用いれば、ある財の生産や輸送・流通が引き起こす間接効果が容易に計測できる。さらに、IOモデルを用いることで、LCAにおいて、常に問題とされるシステム境界は明確に定められる。すなわち、システム境界は利用する産業連関表の範囲であり、一般にはある国あるいはある地域である。これらの理由により、「持続可能な消費」(sustainable consumption)の研究ではIOモデルが頻繁に用いられている。

消費者の行動は、購入、使用、廃棄の3つの段階に分けられる。廃棄物産業連関(WIO)モデル^{3,4)}は、IOモデルの拡張であり、動脈・静脈部門の間の財と廃棄物の循環を定量的に把握する分析モデルである。伝統的なIOモデルは財の生産および輸送・流通過程で排出される環境負荷を考慮することに適しているため、消費の購入段階すなわち消費行動の上流の環境負荷を評価することができる。この性質は、IOモデルの拡張であるWIOモデルにも引き継がれる。しかしながら、IOモデルは、少なくとも基本モデルのままでは、廃棄段階の環境負荷の測定には、直接利用可能ではない。WIOモデルの際立った特徴の1つは、経済での財の流れと廃棄物の流れの両方を取り扱う点であ

る。そのため、消費者行動の下流である廃棄過程で排出される環境負荷の計測が可能となる。

動脈産業部門数を n^I 、静脈部門数を n^{II} 、全産業部門数を $n(=n^I+n^{II})$ とする。廃棄物、環境負荷因子が、それぞれ、 n^W 種類、 n^E 種類あるとする。以下、添字I、IIは、それぞれ、動脈部門、静脈部門に対応することとする。WIOの投入係数行列は、

$$A = \begin{bmatrix} A_{II} & A_{I,II} \\ SG_{\cdot,I} & SG_{\cdot,II} \end{bmatrix} \quad (1)$$

と表される。(1)式右辺の A_{II} 、 $A_{I,II}$ は、それぞれ、動脈部門の投入係数行列($n^I \times n^I$)、静脈部門の投入係数行列($n^I \times n^{II}$)である。また、 $G_{\cdot,I}$ 、 $G_{\cdot,II}$ は、それぞれ、動脈部門、静脈部門の廃棄物純排出係数行列($n^W \times n^I$ 、 $n^W \times n^{II}$)で、1単位の生産、廃棄物処理・処分を行う際の廃棄物純排出量を表す。また、 S は、廃棄物純排出量を廃棄物処理・処分部門の活動量に対応させる配分行列($n^{II} \times n^W$)である。配分行列の (i,k) 要素 s_{ik} は廃棄物 k が廃棄物処理・処分部門 i で処理・処分される割合を表す。定義により、 s_{ik} は $0 \leq s_{ik} \leq 1$ 、 $\sum_{i=1}^{n^{II}} s_{ik} = 1$ を満たす($k=1, \dots, n^W$)。WIOの投入係数行列を用いると、経済全体で直接・間接に排出される環境負荷因子 $e(n^E \times 1)$ は、

$$e = R(I - A)^{-1} \begin{bmatrix} X_{I,F} \\ SW_{\cdot,F} \end{bmatrix} + E_{\cdot,F} \quad (2)$$

と表される。ここで、 R は環境負荷排出係数行列($n^E \times n$)で、1単位の生産・処理・処分を行う際の環境負荷排出量を表す。 I は n 次の単位行列である。 $X_{I,F}$ は、生産財に対する最終需要ベクトル($n^I \times 1$)である。最終需要部門には、家計消費、家計外消費、資本形成、政府支出が含まれる。また、 $W_{\cdot,F}$ 、 $E_{\cdot,F}$ は、それぞれ、最終需要部門からの廃棄物純排出量($n^W \times 1$)、環境負荷排出量($n^E \times 1$)である。WIOの基本モデルに関しては中村³⁾、中村・近藤⁴⁾を参照のこと。

消費者のライフスタイルは $X_{I,F}$ 、 $W_{\cdot,F}$ 、および、 $E_{\cdot,F}$ に反映される。ライフスタイルの変更をシナリオとしてWIOモデルに与えるため、消費者の消費行動を表現する以下のようなベクトル($n^I \times 1$)を定義する。

$$Y_{(i)} = [0 \cdots 0 \underbrace{(Y_{(i)})_i}_{\text{Product } i} \underbrace{0 \cdots 0 (Y_{(i)})_{\text{wholesale}} (Y_{(i)})_{\text{retail}}}_{\text{Trade margins}} \underbrace{(Y_{(i)})_{\text{railway}} (Y_{(i)})_{\text{road}} (Y_{(i)})_{\text{other}}}_{\text{Transportation Fees}} 0 \cdots 0]^T \quad (3)$$

ここで T はベクトルの転置を表す。(3)式は、家計による第 i 財消費の購入段階を表している。(3)式右辺の各要素は、消費者が第 i 財を消費する際に支払う代金の構成を表す。

$(Y_{(i)})_i$ は第*i*財の消費量(生産者価格評価の取引額)である^{脚注1)}。工場等で生産された第*i*財は、流通・輸送を経たうえで消費者の手に届けられる。消費者による第*i*財の消費に起因する環境負荷を適切に評価するためには、第*i*財が誘発する流通・輸送で排出される環境負荷をも評価する必要がある。 $(Y_{(i)})_{\text{wholesale}}$ 、 $(Y_{(i)})_{\text{retail}}$ は第*i*財にともなう商業マージン(卸売、小売)、 $(Y_{(i)})_{\text{railway}}$ 、 $(Y_{(i)})_{\text{road}}$ 、 $(Y_{(i)})_{\text{other}}$ は第*i*財にともなう輸送マージン(鉄道輸送運賃、道路輸送運賃、その他の輸送運賃)である。(3)式の各要素の合計

$$x_i = (Y_{(i)})_i + (Y_{(i)})_{\text{wholesale}} + (Y_{(i)})_{\text{retail}} + (Y_{(i)})_{\text{railway}} + (Y_{(i)})_{\text{road}} + (Y_{(i)})_{\text{other}} \quad (4)$$

は購入者価格評価の取引額となる。

第*i*財の使用段階で排出される直接の環境負荷($n^E \times 1$)、廃棄段階で排出される廃棄物量($n^W \times 1$)を、それぞれ $E_{(i)}$ 、 $W_{(i)}$ とすると、家計が第*i*財を消費し、最終的に廃棄することに起因する環境負荷 Q_i ($n^E \times 1$)は、以下で計算される。

$$Q_i = R(I - A)^{-1} \begin{bmatrix} Y_{(i)} \\ SW_{(i)} \end{bmatrix} + E_{(i)} \quad (5)$$

ここで、 $Y_{(i)}$ 、 $E_{(i)}$ および $W_{(i)}$ は、消費者が*i*財に支払う金額 x_i の関数であり、 x_i の増減に応じてベクトルの各要素が比例的に変化する。また、(5)式の右辺第1項は間接効果、第2項は直接効果を表す。WIOモデルにより、消費財のライフサイクルを通して、直接・間接に排出される環境負荷を、財別に計測することが出来る。家計が第*i*財1単位を消費することによって直接・間接に排出される環境負荷は、 $q_i = Q_i / x_i$ ($i=1, 2, \dots, n^1$)と表される。

2.2 リバウンド効果

消費者は限られた資源である所得と時間を、移動、食事、余暇などの各消費活動に配分する。したがって、消費者の所得と時間の使い方は消費者のライフスタイルを反映している。消費者が真に「持続可能な」消費を目指して消費パターンの変更を試みるとき、必要となる費用や時間は、変更の前後で異なることが一般的である。余った費用や時間が他の消費活動に用いられるとすると、当初の目的に反して、新しい消費パターンでは環境負荷を増加させてしまう可能性がある。このような現象はリバウンド効果と呼ばれている¹⁾、^{脚注2)}。

Figure 1は「持続可能な」消費、現状消費および所得に関するリバウンド効果の関係を図示したものである。 Z_1 および Z_2 を代替的な機能を持つ消費とする。45度線は、同機能を持つ Z_1 および Z_2 の組み合わせであるとする。たとえば、 Z_1 が公共交通機関による移動ならば、 Z_2 は自家用車による移動である。等費用の Z_1 および Z_2 の組み合わ

せは図中の実線で表される。 Z_1 の方が Z_2 よりも同機能当たりの費用が高いことは、予算制約を表す実線が45度よりも緩やかであることで表現されている。

点 C_0 は現状の消費パターン、点 C_{sc} は持続可能とされる消費パターンを表す。消費行動に起因する環境負荷を比較する場合には、点 C_0 および点 C_{sc} で評価した環境負荷を比較するだけでは十分ではない。なぜなら、両者の消費に必要な費用が異なるためである。持続可能とされる消費パターンと現状消費パターンに必要な費用を合わせるための方法の一つとして、高瀬他⁶⁾では、「持続可能な」消費パターンの各財の消費を比例的に拡大(あるいは比例的に縮小)させて点 C_{sc}^* を求めた。Figure 1では、点 C_{sc} から点 C_{sc}^* への比例的拡大を直線の矢印で表現している。所得に関するリバウンド効果を考慮した上で消費パターンの比較を行うためには、点 C_0 と点 C_{sc}^* で評価された環境負荷を比較すればよい。高瀬他⁶⁾では、この方法を交通手段のシフト、家電製品の長寿命化、自炊の外食への振替のシナリオ分析に応用している。

同種のモデルは、時間に関するリバウンド効果についても適用することが可能である。時間に関するリバウンド効果を考慮するためには、Figure 1の予算制約線を、時間制約に変更すればよい^{9, 10)}。

しかし、一般に、消費者は予算制約と時間制約と同時に直面している。2つ以上の制約がある場合、持続可能とされる消費パターンを比例的に拡大あるいは縮小して、リバ

Figure 1. The rebound effects and the sustainable consumption

脚注1) 産業連関表における生産者価格評価と購入者価格評価については、たとえば宮沢⁷⁾、71ページを参照のこと。

脚注2) 本論で考慮するリバウンド効果は、Hertwich⁸⁾の分類によると、直接リバウンド効果(direct rebound effect)のうちの一部である。最終需要の変化による価格変化などの影響(間接リバウンド効果、indirect rebound effect)は、本論のモデルでは考慮されていない。

ウンド効果を考慮した消費パターン（点 C_{sc}^* ）を求めることが出来ない。たとえば、2つの消費パターンがあり、一方が費用は高いが所要時間が短いもの、もう一方は、費用は安いが所要時間が長いものだとすると、両者を比較する場合、上記の方法でリバウンド効果を考慮することは不可能である。所得に関するリバウンド効果と時間に関するリバウンド効果の両方を同時に扱うために、本論では、以下の消費者モデルを考える。

2.3 消費者モデル

伝統的な経済学では、消費者は予算制約の下での効用最大化を行うと仮定される。伝統的な消費者モデルは、以下のような最適化問題として表現される。

$$\begin{array}{ll} \text{Maximize} & u = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ \text{subject to} & p^T x = M, \quad x \geq 0_n \end{array} \quad (6)$$

ここで f は効用関数、 x_i は第 i 消費財の消費量（ $i=1, \dots, n$ ）であり、 x で消費量ベクトル（ $n \times 1$ ）を表す。この効用関数 f は各財の購入額に依存する。したがって、伝統的な消費者モデルは、財を購入すること自体から効用が得られるかのようなモデルとなっている。また、 p は財の価格ベクトル（ $n \times 1$ ）、 M は所与の所得水準（予算）、 0_n はゼロベクトル（ $n \times 1$ ）である。すなわち、消費者は、所与の予算制約を満たすように、各消費財の消費量を決定すると仮定されている。各財の消費に必要な時間のデータが入手できれば、理論上は（6）式に時間制約を追加することが可能である。しかし、個別の財の消費に必要な時間（たとえば自動車1台を消費するための時間）についての情報をすべての財について入手することは不可能である。したがって、時間制約と所得制約を課した消費者行動の分析に、伝統的な消費者モデルを利用することは困難である。

消費者行動に起因する環境負荷の計測に際し、消費者行動の費用的側面だけでなく、時間的側面を考慮するため、本論では、新たな消費者モデルを考える。消費者の行動原理として、時間制約と所得制約の下での効用最大化行動を仮定する。消費者が財の消費量を選ぶ伝統的な消費者モデルと異なり、このモデルでは、消費者が、移動や食事などの「消費活動」（consumption activity）を達成するための財の組み合わせ、すなわち「消費技術」（consumption technology）の稼働水準を選ぶこととする。このモデルの主な特徴は、1960年代に経済学者のK. J. Lancaster, R. F. Muth, G. S. Beckerらによって提唱された消費者モデル（「新しい消費者モデル」あるいは「家計生産モデル」）の特徴によく似たものである^{脚注3)}。Lancasterらが提唱した元々の「新しい消費者モデル」では、効用関数は、財が持つ特性の集合上で定義される。たとえば、自動車から得ら

れる特性は馬力や快適さなどである。したがって、「新しい消費モデル」は、各財の消費量ではなく、財が持つ特性から効用が得られるモデルとなる。本論で用いる消費者モデルでは、「新しい消費者モデル」の一部である消費技術の概念を利用する。このモデルでは消費者は「消費技術」を通して「消費活動」を行うと仮定される。なお、「新しい消費者モデル」についての詳しい解説は太田¹²⁾などを参照のこと。

消費技術は生産技術に類似した概念である。たとえば、自動車の生産技術では、鋼板、電力、機械、労働などを投入し、自動車を生産する。同様に、消費技術は、財と時間をインプットとして投入し、アウトプットとして各消費活動を「生産」する。Figure 2は消費活動と消費技術の関係を図示したものである。消費者がある消費活動を行うためには複数の消費技術が用いられる。たとえば、移動という消費活動は、乗用車による移動、電車による移動、徒歩による移動など、さまざまな消費技術によって行われる。同様に、食事という消費活動は、自炊や外食という複数の消費技術によって行われる。各消費技術に対して、必要となる財と時間が異なるため、消費技術は財と時間の組み合わせとして表現される。たとえば、乗用車による移動は、自

Figure 2. The consumer model (Examples of activities, consumption "technologies" and inputs)

脚注3) Becker流の消費者モデルを環境負荷の分析に応用した例としては、金森・松岡¹¹⁾がある。

乗用車、ガソリン、所要時間の組み合わせとして表わされる。また、電車による移動は、運賃と所要時間の組として表現される。同じように、自炊は食材、台所道具、光熱費、炊事および食事時間の組となる。また、外食は外食代金と食事時間で表現される。

乗用車による移動、電車による移動、自炊や外食などの消費技術が m 種類あるものとする。 z_j は第 j 消費技術の稼働水準 ($j=1, \dots, m$) とし、 z で全消費技術の稼働水準ベクトル ($m \times 1$) を表すこととする。 b_{ij} を 1 単位の第 j 消費技術に必要な第 i 財の投入量、 b_{Tj} を 1 単位の第 j 消費技術に要する時間であるとすると、すべての消費技術に必要な第 i 財の必要量 x_i および必要な時間 t は、

$$x_i = b_{i1}z_1 + b_{i2}z_2 + \dots + b_{im}z_m \quad (i = 1, 2, \dots, n^1) \quad (7)$$

$$t = b_{T1}z_1 + b_{T2}z_2 + \dots + b_{Tm}z_m \quad (8)$$

と表わされる。 b_{ij} は生産における生産技術を表す投入係数と同様に、消費における消費技術を表す固定係数である。(7) 式および (8) 式で表される消費技術の全体は、 $(n^1+1) \times m$ の消費技術に関する投入係数行列 B を用いて、

$$\begin{bmatrix} x \\ t \end{bmatrix} = Bz \quad (9)$$

と表すことが出来る。

本論のモデルでは、消費者は所得制約と時間制約に関して効用を最大化すると仮定される。したがって、この消費者モデルは限られた資源である財と時間が、各消費活動にどのように配分されるかを記述することになる。数学的には、この消費者モデルは、以下のような最適化問題として表される。

$$\begin{cases} \text{Maximize} & u = u(z_1, z_2, \dots, z_m) \\ \text{subject to} & \begin{bmatrix} x \\ t \end{bmatrix} = Bz, \quad p^T x = M, \quad t = T, \quad z \geq 0_m \end{cases} \quad (10)$$

ここで、 u は各消費技術の稼働水準で定義される効用関数である。 T は所与の時間 (1 日で考えれば 24 時間) である。(10) 式の 1 番目の制約式は、消費技術と財および時間との対応を表す。また、2 番目、3 番目の制約式は、それぞれ、予算制約式、時間制約式である。

消費に関するシナリオは追加の制約式として表される。たとえば、第 i 消費技術と第 j 消費技術の稼働水準を $1:r$ とする場合、 $rz_i = z_j$ を (10) 式の制約式に追加して、最適化問題を解けばよい。次節のシナリオ分析では、「持続可能な」消費シナリオを、代替的な消費技術の稼働水準の比で与えている。最適化の結果である解 $z_1^*, z_2^*, \dots, z_m^*$ は、所得制約、時間制約およびシナリオを表す制約式を同時に

満たしている。すなわち、最適解は

$$\begin{bmatrix} x^* \\ T \end{bmatrix} = Bz^*, \quad p^T x^* = M, \quad rz_i^* = z_j^* \quad (11)$$

を満たす。(11) 式により、現状消費パターンと「持続可能な」消費パターンで必要となる費用と時間は一定に保たれるので、前節で述べた類のリバウンド効果に関しては、このモデルにおいては、あえて修正を加える必要がないことになる。言い換えれば、Figure 1 の表記法を用いれば、点 C_0 (現状消費パターン) と点 C^* (所得と時間の両方に関して制約を満たしたシナリオ消費パターン) で評価した環境負荷の比較を直接行うことが可能となる。

この消費者モデルと WIO モデルを組み合わせることにより、消費者の所得水準と生活時間を考慮した環境負荷の分析を行うことが出来る。すなわち、各消費技術を稼働することによって直接・間接に排出される環境負荷を計測することが出来る。シナリオ消費パターンでの環境負荷は、前節で定義した q_i を用いて、次式のように計算できる。

$$Q^* = \sum_{i=1}^{n^1} Q_i^* = \sum_{i=1}^{n^1} q_i x_i^* \quad (12)$$

また、「持続可能な」消費パターンと現状消費パターンのどちらがより「環境にやさしい」かに答えるためには、(12) 式で計算された Q^* と現状の環境負荷排出量を比較すればよい。

(10) 式の制約付き最適化問題にデータを対応させるためには、効用関数 u の関数形を特定する必要がある。本論では、最も基本的な関数形の一つであるコブ=ダグラス型効用関数 (対数線型関数)

$$u = \alpha_1 \log z_1 + \alpha_2 \log z_2 + \dots + \alpha_m \log z_m \quad (13)$$

を採用した。ここで α_j ($j=1, \dots, m$) は効用関数のパラメータである。 α_j は第 j 消費技術に対する支出と総支出との比 (支出シェア) で与えられることが知られている (たとえば Chung¹³⁾ など)。

3. データと初期設定

環境負荷因子として、CO₂ 排出量と埋立容積を考える ($n^E=2$)。WIO モデルの基礎データとして、平成 12 (2000) 年廃棄物産業連関表¹⁴⁾を用いた。動脈部門は平成 12 年産業連関表 (総務省) の基本表部門レベルの 396 部門 (再生資源回収・加工処理及び廃棄物処理・処分を除く)、静脈部門は 13 部門、廃棄物は家庭系・事業系一般廃棄物、産業廃棄物の合計 78 種類である ($n^I=396$, $n^II=13$, $n^W=78$)。現状の家計消費行動に起因して直接・間接に排出される CO₂ 排出量は、(2) 式から、178.6 百万炭素トン、埋め立て容積は 47.4 百万立米となった。

Table 1. Operational levels of the consumption technologies and environmental loads

Consumption technologies	Operational levels of the consumption technologies		
	Observed consumption as of the year 2000 (Initial setting)	Rate of change relative to the initial pattern [%]	
		Scenario 1	Scenario 2
1 Travel by car	1.860 [10 person-km]	-10.000	-1.437
2 Travel by train	0.674	19.651	0.803
3 Travel by bus	0.188	28.440	11.340
4 Cooking & eating at home	0.786 [foods intake/day]	-0.054	-10.000
5 Eating cooked food at home	0.039	0.954	9.289
6 Eating out	0.175	0.029	42.804
7 Sleep, nap & rest	8.255 [hours]	0.000	0.000
8 Housework	2.463	0.000	0.000
9 Work	3.662	0.000	0.000
10 Schoolwork	0.849	0.000	0.000
11 Reading & recreation	1.298	1.016	-1.524
12 TV, radio, music & videos	2.397	-3.025	4.785
13 Sport	0.283	1.304	-1.129
14 Light meals	0.266	1.653	-1.238
15 Other	0.799	1.308	-1.887
Environmental loads	Amounts directly and indirectly induced		
CO ₂ emission	178.6 [10 ⁶ t-C]	-1.134	-0.580
Consumption of landfill site	47.4 [10 ⁶ m ³]	-0.856	-0.611

(9) 式の消費技術の投入係数行列 B の各要素は平成12年家計調査（総務省統計局）、平成13年社会生活基本調査（総務省統計局）より作成した。まずは、社会生活基本調査に報告されている62詳細行動分類をTable 1のように15種類の消費技術に整理した（ $m=15$ ）。

移動に関する消費技術#1、#2、および#3は、それぞれ、乗用車、鉄道、バスによる移動である。社会生活基本調査の詳細行動分類には手段別の移動の項目はなく、移動に費やす時間の総計のみが報告されている。そこで、移動時間の総計（1.10時間）を乗用車、鉄道、バスに割り振る必要がある。国土交通省Web Site¹⁵⁾によれば、平成12年度における国内旅客輸送量は、乗用車8,639億人km、鉄道（除・新幹線）3,133億人km、バス873億人kmである。輸送手段別の平均旅行速度を国土交通省の道路交通センサス¹⁶⁾および東京都交通局Web Site¹⁷⁾からとり、乗用車34.3km/h、鉄道32.23km/h、バス11.26km/hと設定した。これらの基礎データを元に、延べ必要時間（=旅客輸送量/平均時速）を、乗用車251.9億時間、鉄道97.2億時間、バス77.5億時間とした。以上のように求めた延べ必要時間の比、乗用車：鉄道：バス=0.59：0.23：0.18を移動時間の交通機関別割合の初期値とした。各消費技術の稼働水準の初期設定をTable 1に示す。移動に関する消費技術については、10人kmの移動を単位とした。また、後のシナリオ分析では、総移動距離が消費パターンの変化前後で一定とな

るように、(10) 式に総移動距離の制約式を加える。したがって、常に $z_1+z_2+z_3=2.72$ (10人km) が成り立つ。

次に食事に関する消費技術として、内食（#4）、中食（#5）、および外食（#6）による炊事および食事を考える。ここで、内食とは、食材を各家庭で調理する食事を指す。また、中食は、惣菜や弁当を購入し、家庭で食すことを指す。社会生活基本調査の詳細行動分類には、消費技術別の食事時間や炊事時間の項目はない。そのため、移動時間と同様に、食事時間の総計（1.71時間）についても、内食、中食、外食に割り振った。同額（生産者価格表示）の食材を摂取するための時間は一定であると仮定し、食事時間の比を内食：中食：外食=0.786：0.039：0.175と設定した。中食および外食については、産業連関表の投入表より、部門別に食材投入比率（=食材投入額/国内生産額）を求め、中食および外食での消費者の食材摂取割合をとった。また、炊事時間の総計（0.92時間）については、内食：中食で3：1と設定し、内食と中食による食材摂取量に応じて必要時間に加えた。食事に関する消費技術については、1日分の食事を各消費技術のみで摂取するケースを1単位とした。また、後のシナリオ分析では、移動に関する消費技術と同様に総食材摂取量が消費パターンの変化前後で一定となるように、(10) 式に制約式を加える。したがって、常に $z_4+z_5+z_6=1$ が成り立つ（Table 1）。

その他の消費技術は、#7睡眠・休息、#8家事（除・炊事）、

#9仕事、#10勉強、#11教養・娯楽（除・別掲）、#12テレビ・ラジオ・ビデオ鑑賞、#13スポーツ、#14軽飲食、#15その他である。これらの消費技術の稼働水準は、各消費技術に費やした時間で計られている（Table 1）。なお、消費技術#7から#10に関しては、消費者が稼働水準を自由に変更することが困難な消費技術とみなし、シナリオ分析の際には変化しないものと設定した。

4. シナリオ分析

まず、典型的な「持続可能な」消費シナリオの一つである、交通手段のシフトを考える。乗用車による移動を減らし、公共交通機関を利用することにより、消費者による乗用車の購入台数が減り、それに伴って、使用済み自動車の排出が減少する可能性がある。それに伴う自動車起源の破碎ダストの減少が予想され、埋立容積の減少に結びつくことが考えられる。また、一人当たりの燃料消費が減るため、消費者によるCO₂直接排出の減少も考えられる。「持続可能な」消費シナリオとして、乗用車による移動（#1）を現状比で10%減らした場合を考える。総移動距離が一定であるため、乗用車による移動（#1）の減少分は、代替手段である鉄道（#2）あるいはバス（#3）による移動でまかなわれることになる。結果をTable 1のシナリオ1の列にまとめた。

シナリオ1での最適化の結果、鉄道（#2）およびバス（#3）による移動は、それぞれ、19.7%、28.4%の増加となった。乗用車による移動に比べて公共交通機関による移動は時間がかかるため、食事に関する消費技術についても、比較的時間を要する内食（#4）を減らし、中食（#5）や外食（#6）を増やす結果となった。その他の消費技術に関しても、初期設定で比較的時間費やしていたテレビ・ラジオ・ビデオ鑑賞（#12）を減らす傾向にある。このような消費者行動が直接・間接に排出するCO₂は、全体で初期設定のそれと比較して1.13%の減少となった。また、埋立容積は0.86%の減少となった。すなわち、乗用車で移動を公共交通機関での移動にシフトすることにより、環境負荷を減らすことが出来るとの結果を得た。

次に、内食（#4）を10%減らすケースを考える。大規模な厨房で調理をすることにより、一食あたりの光熱費が節約できる可能性がある。また、中食（#5）や外食（#6）の場合、一度に多くの食材を調理するため、食材を効率的に利用できる可能性がある。そのため、1食当たりの食事に伴って排出される厨芥や容器・包装ごみが減ることが考えられる。そのことが直接・間接の環境負荷低減に結びつく可能性がある。食材摂取量を一定としているため、内食（#4）の減少分は、中食（#5）あるいは外食（#6）でまかなわれることになる。その結果をTable 1のシナリオ2の列にまとめた。

シナリオ2での最適化の結果、中食（#5）および外食（#6）の稼働水準は、それぞれ、9.3%、42.8%の増加となった。内食（#4）に比べて中食（#5）、外食（#6）は費用が高い反面、炊事時間が節約されるため、移動に関する消費技術に関しても、乗用車による移動（#1）に比べて時間がかかるが安価な公共交通機関の利用（#2、#3）を増やす結果となった。また、炊事にかけていた時間をその他の消費技術に費やすため、テレビ・ラジオ・ビデオ鑑賞（#12）を増やすとの結果が得られた。これらの家計行動が直接・間接に排出するCO₂は現状消費のそれと比較して0.58%の減少となった。また、埋立容積は0.61%の減少となった。すなわち、内食を減らし、中食や外食へのシフトは、環境負荷を低減させるとの結果を得た。

5. 結語

本論では、廃棄物産業連関（WIO）モデルを用いた環境負荷の分析を消費者分析用に拡張した。同時に、消費者行動を表す経済学的モデルを導入し、所得と時間の制約に直面する消費者行動を分析した。両者を組み合わせることにより、所得と時間のリバウンド効果を考慮した環境負荷の分析を行った。このモデルを典型的な「持続可能な」消費シナリオに応用し、現状消費パターンとシナリオ消費パターンで評価した環境負荷の比較を行った。その結果、交通手段のシフト、内食・中食・外食の比率変更は、ともにより環境負荷の少ない消費パターンであることが示された。

謝辞

本論は、2005年6月にストックホルム（スウェーデン）で開催された国際産業エコロジー学会（International Society for Industrial Ecology）2005年大会での報告論文を元としている。中村慎一郎氏（早稲田大学）、田崎智宏氏（独立行政法人国立環境研究所）には、有益なコメントをいただいた。高瀬の研究は、財団法人清明会・平成16年度研究助成および文部科学省・平成17年度科学研究費補助金・若手研究（B）16710026の助成を受けた。また、近藤の研究は、平成16年度日本経済研究奨励財団奨励金および文部科学省・平成17年度科学研究費補助金・若手研究（B）17710033の助成を受けた。

引用文献

- 1) Inaba, A.: J. LCA, 1(1), (2005), pp.4-9
(稲葉敦: 日本LCA学会誌, 1(1), (2005), pp.4-9), [in Japanese]
- 2) 吉岡完治・大平純彦・早見均・鷺津明由・松橋隆治:
“環境の産業連関分析”, 日本評論社, 東京, (2003),
pp.73-109, [in Japanese]
- 3) Nakamura, S.: J. JPN Soc. Waste Management
Experts, 11(2), (2000) pp.84-93
(中村 慎一郎: 廃棄物学会論文誌, 11(2), (2000),
pp.84-93), [in Japanese]
- 4) Nakamura, S., Kondo, Y.: J. Ind. Ecol., 6(1), (2002),
pp.39-64
- 5) Takase, K., Washizu, A.: Business J. of PAPAIOs, 12
(1), (2004), pp.25-33
(高瀬浩二・鷺津明由: 産業連関, 12(1), (2004),
pp.25-33), [in Japanese]
- 6) Takase, K., Kondo, Y., Washizu, A.: J. Ind. Ecol., 9
(1-2), (2005), pp.201-219
- 7) 宮沢健一編: “産業連関分析入門”, 第7版, 日本経済新
聞社, 東京, (2002), [in Japanese]
- 8) Hertwich, E. G.: J. Ind. Ecol., 9(1-2), (2005), pp.85-98
- 9) Jalas, M.: Ecological Economics, 41, (2002),
pp.109-123
- 10) Jalas, M.: J. Ind. Ecol., 9(1-2), (2005), pp.129-145
- 11) Kanamori, Y., Matsuoka, Y.: Proc. 6th Int. Conf.
EcoBalance, Tsukuba, (2004), pp.399-402
- 12) 太田誠: “社会科学への招待 経済学 理論篇” (根岸隆
編著), 日本評論社, 東京, (1977), pp.26-42, [in
Japanese]
- 13) Chung, J. W.: “Utility and Production Functions,”
Blackwell, Cambridge (1994), Chapter 1
- 14) 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構:
“平成16年度成果報告書 製品等LCA及び静脈系に係わ
るLCAの研究開発”, (2004)
- 15) 国土交通省総合政策局情報管理部: “平成12年度にお
ける交通の動向”, 国土交通省, 入手先
<<http://www.mlit.go.jp/toukeijouhou/toukei01/unyunenkan/koutudoukou00.html>> (参照2005-9-25)
- 16) 国土交通省道路局: “道路交通センサスからみた道路
交通の現状, 推移(データ集)”, 国土交通省, 入手先
<http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/data_shu.html> (参照2005-9-25)
- 17) 東京都交通局: “交通局の事業案内”, 東京都交通局,
入手先 <http://www.kotsu.metro.tokyo.jp/jigyoku/info/info_index.html> (参照2005-9-25)