

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

An analysis of consumers' behavior by the waste input-output model:

Environmental impact of income and time use

高瀬浩二^{*}・近藤康之[†]・鷺津明由[‡]

Koji TAKASE, Yasushi KONDO, and Ayu WASHIZU

Synopsis:

For evaluating environmental impacts of consumption, a new model will be introduced. The model consists of two components; one is the waste input-output (WIO) model and the other is an economics model describing consumer's behavior. The model deals with the time-use aspect of consumer's behavior as well as the income aspect. The rebound effects with respect to both income and time can be appropriately considered in this model. Environmental impacts of some alternative consumption technologies are evaluated by this model. We found that some typical scenarios of sustainable consumption are literally more sustainable than the current consumption pattern.

Key words:

Waste input-output model, Economics model, Consumption, Rebound effect, Time use

* 静岡大学・人文学部・講師 / Faculty of Humanities and Social Sciences, Shizuoka University

† 早稲田大学・政治経済学術院・助教授 / Faculty of Political Science and Economics, Waseda University

‡ 早稲田大学・社会科学総合学術院・教授 / Faculty of Social Sciences, Waseda University

消費パターンの変化前と変化後で、総費用と必要時間を等しくする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、所得に関するリバウンド効果と時間に関するリバウンド効果(稲葉[1], Hertwich [7])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。

本研究の目的は、

- i. WIO を用いた消費財の LCI 分析(ライフサイクルインベントリー分析)を行うこと、
- ii. 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紹介すること、
- iii. 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節で分析モデルを紹介する。まずは、基本的な WIO モデルを解説し、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節は結語と今後の課題を与える。

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

た、 S は、廃棄物純排出量を廃棄物処理部門の活動量に対応させる配分行列 ($n^H \times n^W$) である。配分行列の (i, k) 要素 s_{ik} は廃棄物 k が廃棄物処理部門 i で処理される割合を表す。定義により、 s_{ik} は $0 \leq s_{ik} \leq 1$, $\sum_{i=1}^{n^H} s_{ik} = 1$ を満たす ($k=1, \dots, n^H$)。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、

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

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。 $X_{L,F}$ は、生産財に対する最終需要ベクトル ($n^L \times 1$) である。最終消費部門には、家計消費、家計外消費、資本形成、政府支出が含まれる。また、 $W_{,F}$, $E_{,F}$ は、それぞれ、最終消費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 基本モデルの詳細に関しては、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 $X_{L,F}$, $W_{,F}$, および、 $E_{,F}$ 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 ($n^L \times 1$) を定義する。

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

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。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

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

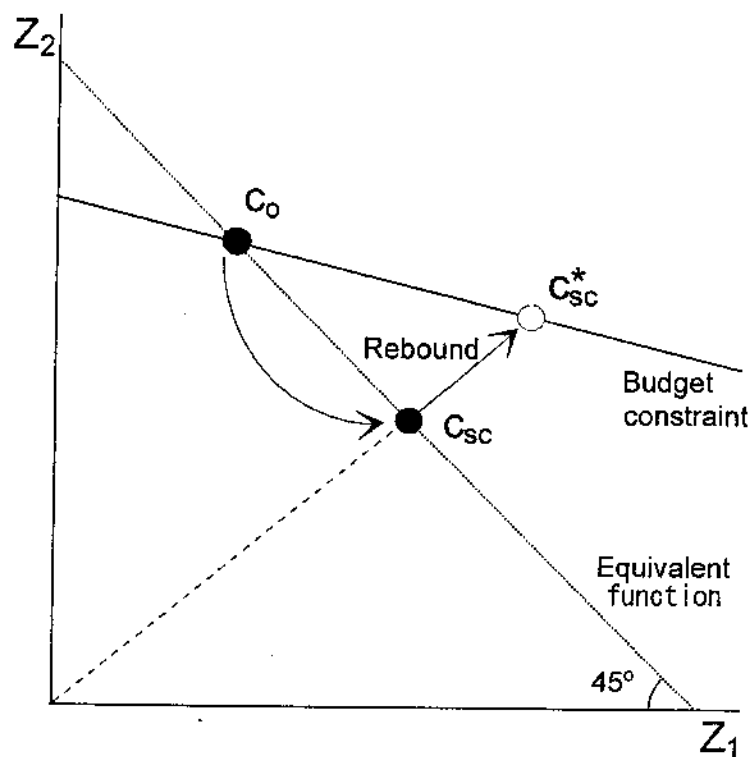


Figure 1: The rebound effects and the sustainable consumption

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} は持続可能なシナリオ消費を表す。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。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あわせるためには、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}^* を求める必要がある。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、自炊の夕食への振替のシナリ

(5)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)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、本研究では、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。伝統的な消費者モデルと異なり、このモデルでは、消費者は財の消費量を選ぶのではなく、移動や食事などのある「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(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[10]がある)。Lancaster らが提唱した元々の「新しい消費モデル」では、効用関数を各財の消費量で定義するのではなく、財が持つ特性で定義する。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。新しい消費者モデルの解説は太田[11]などを参照のこと。本研究で用いる消費者モデルでは、「新しい消費モデル」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「消費行動」を行うと仮定される。

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, 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,

$$x_i = b_{i1}z_1 + b_{i2}z_2 + \dots + b_{im}z_m \quad (i=1, 2, \dots, n^1) \quad (6)$$

$$t = b_{T1}z_1 + b_{T2}z_2 + \dots + b_{Tm}z_m \quad (7)$$

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。(6)式および(7)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,

$$\begin{bmatrix} x \\ t \end{bmatrix} = Bz \quad (8)$$

と表すことが出来る。

本研究のモデルでは, 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, 各消費行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。

$$\text{Maximize } u = u(z_1, z_2, \dots, z_m) \\ z_1, z_2, \dots, z_m$$

$$\text{subject to } \begin{bmatrix} x \\ t \end{bmatrix} = Bz, \quad p^\top x = M, \quad t = T, \quad z \geq 0_m \quad (9)$$

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。 p は財価格ベクトル, M は所与
 の所得(予算), T は所与の時間(1日で考えれば 24 時間)である。(9)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,

$$u = \alpha_1 \log z_1 + \alpha_2 \log z_2 + \dots + \alpha_m \log z_m \quad (12)$$

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 Chung [12]など)。

3. シナリオ分析

環境負荷として、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(α 版)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、 178.6×10^6 t-C、埋め立て容積は 47.4×10^6 m³となった。

(8)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。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 14 種類の消費技術に整理した($m=14$)。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(1.100 時間)を自動車:鉄道:バスで 1:1:2 と仮定し、各消費技術の稼働水準を、自動車 0.275 時間、鉄道 0.275 時間、バス 0.550 時間とし、これらを現状消費の初期値とした。同様に、食事時間の総計(1.710 時間)についても、自炊と外食の比を 1:1 とし、自炊の食事時間 0.855 時間、外食の食事時間 0.855 時間として振り分けた。自炊の食事時間 0.855 時間に炊事時間の 0.920 時間を加えた 1.775 時間を自炊の所要時間とした。時間で計られた各消費技術の稼働水準の初期設定は Table 1 の現状消費の列である。

次に、家庭での炊事・外食の比率変更のケースを考える。食事時間で測った自炊と外食の比は、前述のように、1:1 に初期設定されている。炊事時間を含む場合、自炊と外食の比は現状で 2.07:1 である。大規模な厨房で調理をすることにより、1 食あたりの光熱費が節約できる可能性がある。また、食べ残しが減ることにより、1 食当たりの食事に必要な廃棄物が減るため、そのことが環境負荷の低減に結びつく可能性がある。「持続可能な消費」シナリオでは、自炊と外食での食事時間を 1:2 とした。炊事時間を含む場合、自炊と外食の比は「持続可能な消費」シナリオで 1.03:1 となる。(9)式の制約に $z_{12}=1.03z_{13}$ を加えることにより、予算制約、時間制約、シナリオを満たす各消費技術の稼働水準を求めることが出来る。その結果を Table 1 のシナリオ 2 の列にまとめた。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 2.47% の減少となった。また、埋立容積は 2.01% の減少となった。すなわち、自炊の外食へのシフトは、より持続可能であるとの結果を得た。

4. 結語

本研究では、WIO モデルを用いた環境負荷の分析を消費者問題に拡張した。同時に、消費者行動を表す経済モデルを導入し、所得と時間の制約に直面する消費者の行動を分析した。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。交通手段のシフト、自炊の外食への振替は、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。さらに詳細なシナリオ設定は今後の課題である。

謝辞

本研究は、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

引用文献

- [1] Inaba, A.: "The direction of the discussions on LCA in the international network," *Journal of Life Cycle Assessment, Japan*, 1(1), (2005), pp. 4-9
(稲葉敦: 「LCA に関する国際的議論の動向」『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・鷲津明由・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.: "Input-output analysis of waste treatment and recycling," *Journal of the Japan Society of Waste Management Experts*, 11(2), (2000) pp.84-93
(中村慎一郎: 「廃棄物処理と再資源化の産業連関分析」『廃棄物学会論文誌』, 11(2),
(2000), pp.84-93), [in Japanese]
- [4] Nakamura, S., Kondo, Y.: "Input-output analysis of waste management," *Journal of Industrial Ecology*, 6(1), (2002), pp.39-64
- [5] Takase, K., Washizu, A.: "Input-output analysis of sustainable consumption society," *Business Journal of PAPAIOS, Innovation and IO Technique*, 12(1), (2004), pp.25-33
(高瀬浩二・鷲津明由: 「持続可能な消費社会の産業連関分析」『産業連関』, 12(1), (2004),
pp.25-33), [in Japanese]
- [6] Takase, K., Kondo, Y., Washizu, A.: "An analysis of sustainable consumption by the waste input-output model," *Journal of Industrial Ecology*, 9(1-2), (2005), pp.201-219
- [7] Hertwich, E. G.: "Consumption and the rebound effect: An industrial ecology perspective," *Journal of Industrial Ecology*, 9(1-2), (2005), pp.85-98
- [8] Jalas, M.: "A time use perspective on the materials intensity of consumption," *Ecological*