

廃棄物の最終処分活動に内包化される雇用と産出の前方・後方誘発効果*

Backward and Forward Effects on Employment and Outputs Embodied in Waste Disposal and Recycling*

森川貴史**・加河茂美***・森口祐一****・稲村肇*****

By Takashi MORIKAWA**・Shigemi KAGAWA***・Yuichi MORIGUCHI****・Hajime INAMURA*****

1. はじめに

近年、産業の生産活動や家計の消費活動から結合的に発生する屑・副産物や廃棄物を取り巻く環境問題・エネルギー問題が重要視されている。これらの諸問題に対して、我が国では、循環型社会システムの構築が率先的に取り組まれるようになってきた。

このような背景の下、廃棄物産業連関モデルを利用したリサイクルシステムの影響効果に関する研究が数多く行われている¹⁾³⁾。しかしながら、これらのモデルは「商品×商品」の伝統的なLeontief体系を採用しているため、特に結合生産物である屑・副産物、廃棄物の部門別生産波及構造を内生的に取り扱えない。また、家計部門に起因する廃棄物の投入産出構造を内生的に取り扱うことも難しいであろう。

産業連関モデルを廃棄物分析の枠組みに拡張するにあたっては、屑・副産物、廃棄物等の結合生産物の取り扱いが重要となる。Fukui & Senta⁴⁾、Kop Jansen & ten Raa⁵⁾は、結合生産に関する技術諸仮説について理論的な妥当性を検討している。しかしながら、これらの論文の帰結は非現実的なものであり、もし、結合生産が産業連関理論の基礎に従うのであれば商品技術仮説を用いて記述すべきである、というものであった。現実の経済現象においては産業の数よりも商品の数の方が明らかに多いという事実を考えると、「1産業1商品産出」という商品技術仮説の下で、結合生産物を取り扱うことは大きな問題となる。

このような研究状況に対して、加河らは混合技術仮説を利用した結合生産モデルの開発を積極的に行

ってきた⁶⁾。最近では、Kagawa et al.がハイブリット型SNA産業連関システムを応用した需要主導型・供給主導型の結合生産モデルを提案している⁷⁾。このモデルの特徴は、従来の需要主導による生産波及分析に加え、供給主導による結合生産物の生産波及効果の計測が可能になった点である。つまり、屑・副産物・廃棄物の最終処分量や処分パターンが変化したときに、近い将来、経済システム全体を通して直接間接的に必要とされるエネルギー投入量や原材料投入量あるいは雇用がどのような影響を受けるのかということを経験的に観測することができる。

そこで本研究では、その応用の第一段階として、廃棄物の最終処分に伴う雇用と産出の後方誘発効果及び前方誘発効果を分析することを目的とする。

2. 需要・供給主導型結合生産モデルの枠組み

ここでは、Kagawa et al.によって提案されている需要主導型・供給主導型結合生産モデルを簡単に説明する。このモデルはGigantes⁸⁾によって提案された混合技術仮定が採用されている。すなわち、従来の産出行列Vを商品技術仮定の採用が適当な主生産物・副次生産物のみから構成される産出行列V^aと産業技術仮定が適当な屑・副産物に関する産出行列V^bとに分け、それぞれ別個の仮説を混合させるものである。同様に投入行列Uも主生産物・副次生産物に関するものU^aと屑・副産物に関するものU^bとに分ける。表-1と表-2がその概念である。これらの表からも分かるように、家計が産業部門に増補されており、家計部門からの廃棄物発生構造と同時に所得分配構造が内生化されている。

また、表-1、表-2における投入産出行列は、エネルギーについてはTcal、原材料については100万円、屑・副産物、廃棄物についてはトンで表されたハイブリット行列を採用している（例えば、Kagawa & Inamura⁹⁾を参考にされたい）。

*Keywords: 環境計画, 地球環境問題

** 学生員 東北大学大学院 情報科学研究科

*** 正会員 博(学) 国立環境研究所

**** 正会員 博(工) 国立環境研究所

***** F会員 工博 東北大学大学院 情報科学研究科

〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 06

TEL: 022-217-7497, FAX: 022-217-7494

表-1 SNA 産業連関形式 (主生産物・副次生産物)

	商品	労働	産業	家計	F. D.	T. S.
商品			u_{ij}^p	$u_{i,m+1}^p$	f_i^p	q_i^p
労働			$u_{m+1,j}^p$	—	f_{m+1}^p	q_{m+1}^p
産業	v_{ij}^p	—				g_i^p
家計	—	$v_{m+1,m+1}^p$				g_{m+1}^p
V. A.			y_j^p	y_{m+1}^p		
T. D.	q_j^p	q_{m+1}^p	g_j^p	g_{m+1}^p		

注1) 金銭単位で投入と産出のバランスが保たれている。

注2) F.D., T.S., V.A., T.D.はそれぞれ最終需要, 総供給量, 付加価値, 総需要を表している。

表-1における $(u_{ij}^p)_{i,j=1,\dots,n}$ と $(u_{i,n+1}^p)_{i=1,\dots,n}$ は,それぞれ主生産物・副次生産物がどの産業にどのくらい利用されたかを示す行列とまたそれが家計にどのくらい消費されたかを示す列ベクトルを表している。 $(u_{m+1,j}^p)_{j=1,\dots,n}$ は,各産業の労働投入を示す行ベクトルを表している。これらから構成される $(u_{ij}^p)_{i,j=1,\dots,n+1}$ を横方向にみると,最終需要(F.D.) $(f_i^p)_{i=1,\dots,n+1}$ と総供給(T.S.) $(q_i^p)_{i=1,\dots,n+1}$ との間で供給量のバランスが保たれている。さらに縦方向に見ると,付加価値(V.A.) $(y_j^p)_{j=1,\dots,n+1}$ と総需要(T.D.) $(g_j^p)_{j=1,\dots,n+1}$ との間で需要量のバランスが保たれている。

また, $(v_{ij}^p)_{i,j=1,\dots,n}$ は主生産物・副次生産物がどの産業からどのくらい産出されたかを示す行列を表しており, $v_{n+1,n+1}^p$ については,家計部門が労働を投入することで受け取った所得がその産出という形で表されている。

表-2についても同様に解釈することができるであろう。産業と家計から排出された屑・副産物,廃棄物はそれぞれ $(u_{ij}^b)_{i,j=1,\dots,n}$, $(u_{i,n+1}^b)_{i=1,\dots,n}$ として市場へ再投入されるものと廃棄物焼却や廃棄物埋め立てといった最終処分(F.D.)されるもの $(f_i^b)_{i=1,\dots,n}$ とに分かれ,利用構造のバランスを保っている。また,産業と家計から排出される屑・副産物はそれぞれ $(v_{ij}^b)_{i,j=1,\dots,n}$, $(v_{n+1,j}^b)_{j=1,\dots,n}$ として表され産出構造を構成している。

3. 需要・供給主導型結合生産モデルの定式化

(1) 需要主導型結合生産モデル

前節で示された枠組みを用いると,下式(1)と(2)

表-2 SNA 産業連関形式 (屑・副産物, 廃棄物)

	商品	労働	産業	家計	F. D.	T. S.
商品			u_{ij}^b	$u_{i,m+1}^b$	f_i^b	q_i^b
労働			—	—	—	—
産業	v_{ij}^b	—				g_i^b
家計	$v_{m+1,j}^b$	—				g_{m+1}^b
V. A.			y_j^b	y_{m+1}^b		
T. D.	q_j^b	—	g_j^b	g_{m+1}^b		

注3) 物量単位で投入と産出のバランスが保たれている。

注4) ここのF.D.は最終処分を表しており,表-1のF.D.とは意味を異にすることに注意されたい。

のような需要主導型結合生産モデルを定式化することができる(証明は,Kagawa et al.⁷⁾を参照されたい)。

$$\tilde{q}^p = \tilde{L}^p \tilde{B}^p \tilde{C}^{-p} \tilde{\Lambda}_0^{-1} \tilde{f}^b + \tilde{L}^p \tilde{f}^p \quad (1)$$

$$\tilde{q}^b = \tilde{L}^b \tilde{B}^b \tilde{C}^{-p} \tilde{f}^p + \tilde{L}^b \tilde{f}^b \quad (2)$$

ここで,

$$\tilde{B}^p = [\tilde{b}_{ij}^p]_{i,j=1,\dots,n+1} = [\tilde{u}_{ij}^p / \tilde{g}_j^p]_{i,j=1,\dots,n+1}$$

$$\tilde{B}^b = [\tilde{b}_{ij}^b]_{i,j=1,\dots,n+1} = [\tilde{u}_{ij}^b / \tilde{g}_j^p]_{i,j=1,\dots,n+1}$$

$$\tilde{C}^p = [\tilde{c}_{ij}^p]_{i,j=1,\dots,n+1} = [\tilde{v}_{ji}^p / \tilde{g}_j^p]_{i,j=1,\dots,n+1}$$

$$\tilde{D}^b = [\tilde{d}_{ij}^b]_{i,j=1,\dots,n+1} = [\tilde{v}_{ji}^b / \tilde{q}_j^p]_{i,j=1,\dots,n+1}$$

$$\tilde{\Lambda}_0 = [\widehat{(\tilde{D}^b)^T} \tilde{I}]$$

$$\tilde{L}^p = (I_{N+1} - \tilde{B}^p \tilde{C}^{-p} \tilde{\Lambda}_0^{-1} \tilde{B}^b \tilde{C}^{-p})^{-1}$$

$$\tilde{L}^b = (I_{N+1} - \tilde{B}^b \tilde{C}^{-p} \tilde{B}^p \tilde{C}^{-p} \tilde{\Lambda}_0^{-1})^{-1}$$

また, i は要素が1の $(n+1)$ 次元列ベクトルを表しており, I_{N+1} は $(n+1 \times n+1)$ 型の単位行列を表している。 $\wedge$ は行列の対角化を表す記号であり, T は転置を表す記号である。

式(1)の右辺第一項を用いることで,屑・副産物・廃棄物の最終処分量や処分パターン $\tilde{f}^b$ が変化したときに,直接間接的に必要とされるエネルギー投入量や原材料投入量あるいは雇用がどのような影響を受けるのか,という質問に答えることができる。しかしながら,例えば最終処分量や処分パターンが計

画された場合に、近い将来において産業全体にどのような影響を与えるのかという質問に対しては、このモデルでは答えることができない。このような計画された経済を想定した商品循環については供給主導型結合生産モデルが必要になる。次に、この供給主導型モデルを示す。

(2) 供給主導型結合生産モデル

供給主導型結合生産モデルについても下式(3)と(4)のように定式化することができる⁷⁾。

$$(\tilde{G}^p)^T = \tilde{y}^b \tilde{\Pi}_0^T \tilde{H}^p \tilde{G}_0^p \tilde{M}^p + \tilde{y}^p \tilde{M}^p \quad (3)$$

$$(\tilde{G}^b)^T = \tilde{y}^p \tilde{H}^p \tilde{G}_0^p \tilde{M}^b + \tilde{y}^b \tilde{M}^b \quad (4)$$

ここで、

$$\tilde{G}^p = [G_{ij}^p]_{i,j=1,\dots,n+1} = [\tilde{u}_{ij}^p / \tilde{q}_i^p]_{i,j=1,\dots,n+1}$$

$$\tilde{G}^b = [G_{ij}^b]_{i,j=1,\dots,n+1} = [\tilde{u}_{ij}^b / \tilde{q}_i^b]_{i,j=1,\dots,n+1}$$

$$\tilde{H}^p = [H_{ij}^p]_{i,j=1,\dots,n+1} = [\tilde{v}_{ij}^p / \tilde{g}_i^p]_{i,j=1,\dots,n+1}$$

$$\tilde{\Pi}_0 = [\widehat{(\tilde{H}^p)^T}]_i$$

$$\tilde{M}^p = (I_{N+1} - \tilde{H}^p \tilde{G}^b \tilde{\Pi}_0^{-1} \tilde{H}^p \tilde{G}^p)^{-1}$$

$$\tilde{M}^b = (I_{N+1} - \tilde{\Pi}_0^{-1} \tilde{H}^p \tilde{G}^p \tilde{H}^p \tilde{G}^b)^{-1}$$

式(3)の右辺第一項を用いることで、屑・副産物・廃棄物の計画された最終処分量や処分パターン $\tilde{y}^b$ が変化したとき、近い将来、直接間接的に必要とされるエネルギー投入量、原材料投入量あるいは雇用がどのような影響を与えるか、という質問に答えることができる。

4. 前方・後方誘発効果の数値シミュレーション

実証分析の第一段階として、廃棄物の最終処分活動に伴う雇用と産出の後方誘発効果及び前方誘発効果の数値シミュレーションを行った。

数値シミュレーションに使用したデータを以下に示す。まず、主生産物、副次生産物に関する投入行

列、最終需要、産出行列をそれぞれ、

$$U^p = \begin{bmatrix} 60 & 30 & 10 & 5 & 5 & 10 & 15 \\ 70 & 100 & 5 & 25 & 20 & 10 & 15 \\ 0 & 0 & 160 & 65 & 10 & 0 & 250 \\ 10 & 5 & 25 & 350 & 25 & 10 & 175 \\ 5 & 5 & 15 & 55 & 20 & 50 & 20 \\ 5 & 5 & 0 & 25 & 0 & 0 & 30 \\ 50 & 50 & 190 & 135 & 50 & 15 & 0 \end{bmatrix}, \quad f^p = \begin{bmatrix} 5 \\ 5 \\ 15 \\ 50 \\ 15 \\ 20 \\ 10 \end{bmatrix},$$

$$V^p = \begin{bmatrix} 100 & 50 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 40 & 200 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 500 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 650 & 65 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 120 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 85 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 500 \end{bmatrix}$$

として与える。また、屑・副産物に関する投入行列、最終処分量、産出行列をそれぞれ、

$$U^b = \begin{bmatrix} 10 & 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 10 & 20 & 0 & 0 & 0 & 5 & 5 \\ 0 & 0 & 100 & 10 & 0 & 75 & 40 \\ 0 & 0 & 0 & 120 & 0 & 20 & 35 \\ 0 & 0 & 0 & 10 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad f^b = \begin{bmatrix} 5 \\ 5 \\ 175 \\ 110 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix},$$

$$V^b = \begin{bmatrix} 25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 35 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 250 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 175 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 10 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 15 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 5 & 150 & 85 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

として設定する。商品部門、産業部門については下、表-3のように想定させて下さい。

表-3 商品部門・産業部門の想定

No.	商品部門	産業部門
1.	石炭製品	石炭製品業
2.	石油製品	石油製品業
3.	農林水産品	農林水産業
4.	鉄鋼製品	鉄鋼業
5.	回収サービス	回収サービス業
6.	再生製品	再生産業
7.	労働	家計

このとき例えば、主生産物・副次生産物に関する投入行列第2行4列目の値25は、石油製品の鉄鋼産業への投入量(Tcal)を表している。また、第4行1列目の値10は、鉄鋼製品の石炭製品業への投入量(100万円)を表している。次に、屑・副産物に関する投入行列について簡単に説明すると、第4行4列目の値120は鉄鋼製品(屑・副産物)の鉄鋼業への投入量(Ton)を表している。このように、ハイブリッド型投入行列を想定する。また同様に、主生産物、副次生産物に関する産出行列及び屑・副産物に関する産出行列についてもハイブリッド型とする。これらのデータをもとに、鉄くずのリサイクル率を上昇させた2通りシナリオAとBを設定し、需要主導と供給主導双方の波及効果分析を行った。

(1) シナリオ A

鉄鋼製品に関する屑・副産物の投入係数 $b_{4,j=1,\dots,7}^b$ が一律 10%上昇する一方で、鉄鋼製品に関する主生産物・副次生産物の投入係数 $b_{4,j=1,\dots,7}^b$ が一律 10%減少した場合、つまり鉄くずのリサイクル率が仮想的な技術代替を通して上昇した場合の最終処分活動に内包化される産業別誘発産出量の変化割合を探った。この値は式(1)と(2)の右辺一項によって推計することが可能であり、その結果を図-1 に示す。ここでのエネルギーとは、エネルギー産業である石炭製品業と石油製品業に関する合計値を表している。また、家計は労働を生産するので、雇用の変化を見ることもできる。

図-1 を見ると、需要主導型モデルでは鉄鋼業の産出量が大きく負に転じているのが分かる。その結果、需要主導ではリサイクル率上昇前に比べ、産業全体の産出量合計は 1.0%減少となった。それに対して供給主導型モデルでは、鉄鋼業の産出量が負に転じてはいるものの、リサイクル率上昇前に比べ産業全体の産出量合計は 8.0%増という結果となった。

(2) シナリオ B

ここでは、鉄鋼製品の屑・副産物の投入係数を一律 10%上昇させる一方で、それに対応する鉄鋼製品の主生産物・副次生産物の投入係数を一律 5%低下させた。そのときの誘発産出量の変化割合を図-2 に示す。これを見ると、リサイクル率上昇前に比べ、産業全体の産出量の合計は、需要主導型モデルでは 8.2%増、供給主導型モデルでは 24.3%増と大きくシナリオ A を上回る結果となった。供給主導型モデルにおいては、シナリオ A における産出量合計と比べて 15.5%増となり、特に、鉄鋼業、家計へ与える影響が大きくプラスの方向に作用しているのが分かった。つまり、需要・供給主導の波及方向で波及効果に大きな違いが生じることを明らかとなった。これは、需要主導の方向では、第一次波及として鉄くずを生産する鉄鋼業のみに影響を及ぼすのに対して、供給主導の方向では、鉄くずを投入する部門(鉄鋼業、再生産業、家計)に第一次波及として影響を与えていくからである。

5. おわりに

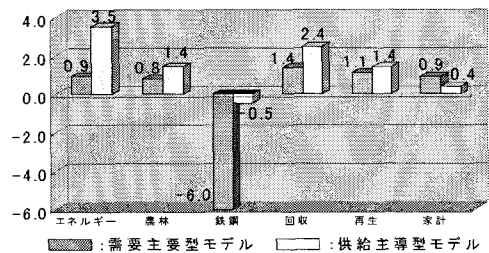


図-1 シナリオ A による誘発産出量の変化割合(%)

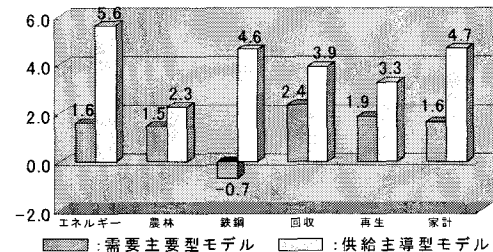


図-2 シナリオ B による誘発産出量の変化割合(%)

本研究では、需要・供給主導型結合生産モデルを用いて簡単なシミュレーションを行った。その結果、需要・供給主導という波及方向の違いで誘発生産量に与える影響が大きく異なることが明らかになった。

現実のリサイクルは、供給主導で行われることを考慮すると、これまで分析が行われていない供給主導結合生産モデルによるリサイクル構造分析は重要であると考えられる。今後は、無価値物を含めた屑・副産物のデータを作成すると同時に、現実における技術代替の可能性を検討した上で、供給主導型のリサイクル実証分析へ発展していきたいと考えている。

<参考文献>

- 1) 中村慎一郎：廃棄物循環再利用の経済・環境効果の産業連関分析，第8回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp.100-102, 1997.
- 2) 中村慎一郎：線形生産モデルによる廃棄物処理の有用性分析～堆肥化とRDF化への応用～，第9回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp.130-133, 1998.
- 3) 中村慎一郎：廃棄物産業連関モデルへ広域処理と廃プラスチック高炉還元への応用～，第10回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp.100-103, 1999.
- 4) Fukui, Y. & Senta, E.: A Theoretical Approach to the Conventional Treatment of Joint-Production in Input-Output Tables, *Economic Letters*, Vol.18, pp.175-179, 1985.
- 5) ten Raa, Th.: An Alternative Treatment of Secondary Products in Input-Output Analysis, *Review of Economics and Statistics*, Vol.70, pp.535-538, 1988.
- 6) 結城拓児，加河茂美，稲村肇：廃棄物循環に着目した構造分解分析，土木計画学研究・講演集，No.23, No.1, pp.231-234, 2000.
- 7) Kagawa, S., Moriguchi, Y., Morikawa, T. & Inamura, H.: Demand & Supply-Driven Allocation Model Based on a Hybrid Rectangular Input-Output Framework with Physical Joint-Production and Its Structural Change, *Working paper* 102, 2001.
- 8) Gigantes, T.: The Representation of Technology in Input-Output Systems, *Contributions to Input-Output Analysis*, Chapter 14, Amsterdam: North-Holland Publishing, pp.270-290, 1970.
- 9) Kagawa, S. & Inamura, H.: Structural Decomposition of Energy Consumption Based on a Hybrid Rectangular Input-Output Framework, -Japan's Case-, *Economic Systems Research*, Vol.13, No.4, 2001, Forthcoming.