特集「第2回研究発表会からの投稿」

研究論文

地域間廃棄物産業連関分析(IR-WIO)による家庭用生ごみ処理機のLCA

筑井 麻紀子

LCA of Garbage Disposal for Household Use by Interregional Waste Input-Output Analysis

Makiko TSUKUI

Synopsis: As the waste issue is site-dependent problem, the waste treatment policy of each municipal tends to be determined independently. However, it is important to check the effect of the policy not only to the municipal itself but also to the whole society. In this study, we proposed the evaluation method of the municipal policy by using interregional waste input-output (IR-WIO) analysis. As a case example, we choose LCA of garbage disposal for household use. We assume that garbage disposals are used in households in Tokyo, and examine the effect for the economic activities and the environmental loads to Tokyo and other regions. Our computational results show that, if the compost generated by the garbage disposal is used in households, the environmental loads decrease in Tokyo, but increase in the other regions which cause, in total, decrease of CO₂ emission as the whole society. However, if the compost generated by the garbage disposal is emitted as general wastes, the decrease of the environmental loads is much less than in the former case, then the environmental loads increase as the whole society. We found that our assumed policy makes positive beneficial effects on the economic activities and the reduction of waste in the whole society.

Key Words: Input-output analysis, Interregional Waste Input-output Table, Garbage Disposal for Household Use, Waste Policy for Tokyo

1. はじめに

一般にごみ問題は地域によって状況が異なるため、個々の地域単位で担当することが望ましい。日本において一般廃棄物の対策は自治体を中心となっているのが現状である。しかし、自治体が廃棄物削減のために採った対策が必ずしも社会全体の廃棄物や環境負荷の軽減につながらない場合も考えられる。一般廃棄物の対策に当たっては、社会全体としての評価が必要となる。例えば、厨芥の削減問題について考えてみよう。2006年の時点で、約65.6%の自治体¹⁾が家庭用電気生ごみ処理機の助成金制度を導入している。しかし、家庭用生ごみ処理機の普及に関しては肯定的な意見もあれば、否定的な意見もある。直接的に厨芥の削減につながると共に、住民のごみ問題に対する意識の向上にも役立つとの意見²⁾に対して、電力を使用することから焼却・大規模堆肥化・メタン発酵といった方法に比べ温暖効果ガスの排出が大きいとの研究³⁾もある。また、廃棄時の処理や最終処分場に対する負荷や、家庭用生ごみ処理機の生産活動により使用される地域以外の生産地にお

ける環境負荷が増大する可能性もある。このように地域の政策意思決定に伴い様々な要因が複雑に関連する問題について、社会全体として評価を行う必要がある。本研究では、地域間廃棄物産業連関分析の手法を用いて、特定地域におけるごみ対策がどのような影響を及ぼすか事例を用いて検討を行う。ここでは、東京都において家庭用生ごみ処理機が普及した場合の経済活動水準及び環境負荷（廃棄物量、二酸化炭素排出量、最終処分量）について、異なる普及率のシナリオを設定することにより評価分析を行う。

本論文の構成は次に示すとおりである。2.において地域間廃棄物産業連関分析の概要を示し、3.においてシナリオ設定と分析結果を報告し、4.においてまとめと今後の課題を示す。

2. 地域間廃棄物産業連関分析の概要

2.1 地域間廃棄物産業連関表・モデルの概要とLCA評価

地域間廃棄物産業連関分析（IR-WIO: Interregional Waste Input-output Analysis）とは地域間の財・サービ

Table 1. The basic structure of IR-WIO (interregional waste input-output) table

	Industry of target area	Industry of other regions	Waste treatment of target area	Waste treatment of other regions	Final demand of target area	Final demand of other regions	Summation
Goods of target area	$X_o^{(TT)}$	$X_o^{(TR)}$	$X_z^{(TT)}$	$X_z^{(TR)}$	$\hat{X}_f^{(TT)}$	$\hat{X}_f^{(TR)}$	$X^{(T)}$
Goods of other regions	$X_o^{(RT)}$	$X_o^{(RR)}$	$X_z^{(RT)}$	$X_z^{(RR)}$	$\hat{X}_f^{(RT)}$	$\hat{X}_f^{(RR)}$	$X^{(R)}$
Waste of target area	$W_o^{(TT)}$	$W_o^{(TR)}$	$W_z^{(TT)}$	$W_z^{(TR)}$	$W_f^{(TT)}$	$W_f^{(TR)}$	$W^{(T)}$
Waste of other regions	$W_o^{(RT)}$	$W_o^{(RR)}$	$W_z^{(RT)}$	$W_z^{(RR)}$	$W_f^{(RT)}$	$W_f^{(RR)}$	$W^{(R)}$
Value added	$V_o^{(T)}$	$V_o^{(R)}$	$V_z^{(T)}$	$V_z^{(R)}$			V
Environmental load	$E_o^{(T)}$	$E_o^{(R)}$	$E_z^{(T)}$	$E_z^{(R)}$	$E_f^{(T)}$	$E_f^{(R)}$	E

ス・廃棄物の流れと産業部門（動脈部門）・廃棄物処理部門（静脈部門）の活動を考慮した分析手法である。その概要はTable 1に示すとおりである。 X 、 W 、 V 、 E はそれぞれ行部門に関する動脈部門、静脈部門、付加価値、環境負荷因子を表し、下付きの添え字 o 、 z 、 f は列部門に関する産業部門、廃棄物処理部門、最終需要部門を、 ex 、 im は輸出と輸入をそれぞれ表す。また、上付き文字の（ ）内は行・列の順で地域を表しており、 T は対象地域、 R はその他の地域を示している。Table 1では図の簡略化のため、*で示す任意の T 、 R に対して $\hat{X}_f^{(*)} = X_f^{(*)} + X_{ex}^{(*)} - X_{im}^{(*)}$ とした。

IR-WIOは伝統的な地域間産業連関モデルの拡張であると同時にWIO⁴⁾の拡張である。したがって、そのモデルは次に表すとおりとなる。投入係数行列を次式で示す。

$$A = \begin{bmatrix} A_o & A_z \\ SG_o & SG_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_o \cdot (diag \ X)^{-1} & X_z \cdot (diag \ SW)^{-1} \\ SW_o \cdot (diag \ X)^{-1} & SW_z \cdot (diag \ SW)^{-1} \end{bmatrix} \quad (1)$$

但し、

$$X_o = \begin{bmatrix} X_o^{(TT)} & X_o^{(TR)} \\ X_o^{(RT)} & X_o^{(RR)} \end{bmatrix}, \quad X_z = \begin{bmatrix} X_z^{(TT)} & X_z^{(TR)} \\ X_z^{(RT)} & X_z^{(RR)} \end{bmatrix},$$

$$W_o = \begin{bmatrix} W_o^{(TT)} & W_o^{(TR)} \\ W_o^{(RT)} & W_o^{(RR)} \end{bmatrix}, \quad W_z = \begin{bmatrix} W_z^{(TT)} & W_z^{(TR)} \\ W_z^{(RT)} & W_z^{(RR)} \end{bmatrix},$$

$$X = \begin{bmatrix} X^{(T)} \\ X^{(R)} \end{bmatrix}, \quad W = \begin{bmatrix} W^{(T)} \\ W^{(R)} \end{bmatrix} \quad (2)$$

と置き、 $diag \ X$ はベクトル X を対角成分とする行列を表すものとし、 S は廃棄物と廃棄物処理部門を対応させる配分行列で $S = [S^{(T)}, S^{(R)}]$ で表される。

このとき数量モデルの解 Z は次式で与えられる。

$$Z = (I - A)^{-1} F \quad (3)$$

但し、 I は単位行列を表し、

$$Z = \begin{bmatrix} Z_x \\ Z_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_x^{(T)} \\ Z_x^{(R)} \\ Z_w^{(T)} \\ Z_w^{(R)} \end{bmatrix}, \quad F = \begin{bmatrix} X_f \\ SW_f \end{bmatrix}, \quad W_f = \begin{bmatrix} W_f^{(TT)} + W_f^{(TR)} \\ W_f^{(RT)} + W_f^{(RR)} \end{bmatrix},$$

$$X_f = \begin{bmatrix} X_f^{(TT)} + X_{ex}^{(TT)} - X_{im}^{(TT)} + X_f^{(TR)} + X_{ex}^{(TR)} - X_{im}^{(TR)} \\ X_f^{(RT)} + X_{ex}^{(RT)} - X_{im}^{(RT)} + X_f^{(RR)} + X_{ex}^{(RR)} - X_{im}^{(RR)} \end{bmatrix} \quad (4)$$

である。

付加価値と環境負荷についてはそれぞれに対応する原単位（係数） v および e を次のように定義する。

$$v = [v_o \quad v_z] = [V_o \cdot (diag \ Z_x)^{-1} \quad V_z \cdot (diag \ SZ_w)^{-1}],$$

$$e = [e_o \quad e_z] = [E_o \cdot (diag \ Z_x)^{-1} \quad E_z \cdot (diag \ SZ_w)^{-1}],$$

$$V_o = [V_o^{(T)} \quad V_o^{(R)}], \quad V_z = [V_z^{(T)} \quad V_z^{(R)}],$$

$$E_o = [E_o^{(T)} \quad E_o^{(R)}], \quad E_z = [E_z^{(T)} \quad E_z^{(R)}], \quad E_f = [E_f^{(T)} \quad E_f^{(R)}].$$

(5)

この定義より、付加価値は vZ 、環境負荷因子は $(eZ + E_f)$ として求められる。但し、 E_f は最終需要部門からの環境負荷項目の直接排出量ベクトルである。

廃棄物処理部門の稼動状況はTable 1における廃棄物排出量 $W^{(T)}$ および $W^{(R)}$ に依存するため、 A_z 、 G_z 、 v_z 、 e_z は廃棄物処理部門の稼動状況を反映して同定される。廃棄物処理活動に関する原単位の同定には田中・松藤らの北大モデル⁵⁾を採用している。

地域間廃棄物産業連関表を利用したLCA評価は標準的な産業連関分析の方法に基づくものである。製品の利用状況によって（3）式における最終需要ベクトル F 関し、シナリオを設定し、シナリオに伴い2.2.2節に示す方法により E_f を推計し、解 Z と環境負荷 $(eZ + E_f)$ を求める。

2.2 東京都を対象とした地域間廃棄物産業連関表

2.2.1 東京都地域間廃棄物産業連関表の概要

本研究では対象地域を東京都とし、1995年版の東京都地域間廃棄物産業連関表⁶⁾を用いた。部門分類は基本的に中村ら⁷⁾が作成した全国廃棄物産業連関表（WIO）と同様に設定し、産業部門（動脈部門）は80部門、廃棄物組成部門数は42部門、廃棄物処理部門は14部門とした。

廃棄物処理部門のモデルとしては、東京都を特別区部（区部）と島部を除いたそれ以外の地域（市部）そして東京都以外の地域の3つに分けて仮定し、それぞれ北大モデルを適用した。

2.2.2 東京都地域間廃棄物産業連関表1995年版の推計方法

1995年版の東京都地域間廃棄物産業連関表の推計方法と分析方法については筑井⁸⁾に詳しく示したが、ここではその概要を示す。

X_O 、 X_f 、 X_{ex} 、 X_{im} および V_O は1995年版東京都産業連関表⁹⁾を部門統合することによって推計した。 W_O は産業廃棄物と事業系一般廃棄物、 W_f は家庭系一般廃棄物から成り立っている。これらの推計にあたり、まず廃棄物の広域移動に関する仮定を置いた。東京都が公表する廃棄物関連の統計資料^{10, 11)}から、一般廃棄物はすべて域内で処理されていることがわかる。これに対し、産業廃棄物については東京都からその他地域への広域移動が行われているが、その他地域から東京都への廃棄物の流入量は¹²⁾排出都道府県外移動量の約2%に当たる約406千トンであり相対的に非常に小さい数字であるといえる。そこで東京都地域間廃棄物産業連関表の推計では、 $W_O^{(TR)}$ を零行列と仮定し、 $W_O^{(TT)}$ 、 $W_O^{(RT)}$ は東京都の廃棄物統計資料に示される域内処理量および域外処理量から推計、 $W_O^{(RR)}$ は中村らの全国廃棄物産業連関表における推計結果と東京都の廃棄物統計資料から推計した。 e_O 、 E_f は南斉、森口らの3EID¹³⁾を元に推計し、そこから解Zにより E_O を算出した。

各地域の配分行列 $S^{(T)}$ と $S^{(R)}$ の焼却処理以外の仮定は共通とし、焼却部門に関してはWIOと同様に「焼却(1)」、「焼却(2)」、「焼却(3)」の3部門を仮定した。それぞれ施設当りの1日の処理能力としては1,500トン、360トン、30トンとされている。WIOの枠組みでは一般廃棄物と産業廃棄物を一括して処理することを仮定しており、本研究でもこの仮定を採用した。本研究では、東京都の区部では廃棄物処理部門の「焼却(1)」、市部では「焼却(2)」で処理するものとした。産業廃棄物焼却施設については施設の現状が不明であるが、一般廃棄物焼却施設に関する資料¹⁴⁾から東京都区部の焼却施設の1日の処理能力がほぼ600トンから1,200トンであり、これに対し市部の焼却施設の1日の処理能力はほぼ90トンから600トンと、区部と市部の焼却施設を比較した場合、前者は大規模であり、後者は中規模であるという現状を踏まえた上で置いた仮定である。その他地域である $S^{(R)}$ に関しては、廃棄物処理は市区町村単位で行われると仮定し、焼却対象となる廃棄物排出量に応じて焼却施設の規模を仮定した。各市区町村ごとに1日の焼却量が360トンを超える場合は「焼却(1)」部門、30トン以上360トン未満の場合は「焼却(2)」部門、

30トン未満の場合は「焼却(3)」部門で処理するものとして $S^{(R)}$ の配分比を仮定した。1日の焼却量は、一般廃棄物および産業廃棄物のその他地域からの焼却対象量を各市区町村ごとに配分して概算した。一般廃棄物に関しては、市区町村の自治体ごとの人口比¹⁵⁾をもとに配分した。産業廃棄物に関しては、排出量は産業活動に比例するものと仮定し、道府県別に「県民経済計算年報」の総生産¹⁶⁾の比で配分した上で、事業者数¹⁷⁾を指標として市区町村別の配分比を求めた。これは市区町村に関する総生産の統計が得られなかったため事業所数を代替としたものである。

3. シナリオ設定と分析結果

3.1 シナリオ設定

3.1.1 普及率と生成された堆肥の利用についてのシナリオ

本研究では、東京都の家庭に対する生ごみ処理機の世帯別普及率についてのシナリオを設定することにより、東京都のみならずその他地域を含めた地域に関し、動脈部門および静脈部門における影響を、経済効果と環境負荷の面から検討する。分析には1995年版東京都地域間廃棄物産業連関表 β 2,000¹⁸⁾を用いた。基準年は1995年としたが、データが得られない場合にはなるべく近い年次のデータを用いるものとした。

3.1.3節で示すような東京都における厨芥排出の現状を考慮し、厨芥の削減量は普及率と比例するもの仮定し、生ごみ処理機を導入した家庭からは自治体は収集・処理対象となる厨芥の排出はないものとする。

基準年の1995年時点での生ごみ処理機の普及率は統計としては得られていない。生ごみ処理機メーカーへの非公式のヒアリングによれば、1998年の時点で東京都の普及率は約0.7%であった。このことから1995年時点ではごくわずかであると推測できる。筑井¹⁹⁾では、2004年時点における家庭用生ごみ処理機の普及率を1.35%と推計し、食器洗い機の普及率と同程度の20%、冷蔵庫の普及率と同程度の100%を設定したとする普及率に関する3つのシナリオで分析を行った。この結果、普及率と環境負荷は非線形な関係、つまり、普及の促進に比例した効果が得られないことがわかった。そこで本研究では、普及率のシナリオをより細かく設定し、基準年での東京都の実際の生ごみ処理機の普及率を0%と仮定した上で、1.5%及び5%から100%まで5%ごとにシナリオを設定し、分析を行うものとする。

また、処理される厨芥は堆肥となり家庭菜園等で用いられ自家処理されることが多い。しかし、住宅事情やライフスタイルにより、生成された堆肥を家庭系一般廃棄物として排出する場合もあるという。そこで、本研究では全量自家処理される場合と、全量家庭系一般廃棄物として排出される場合の双方において影響を調べることにする。

堆肥化された厨芥を排出した場合に変化するのは含水率である。本研究では、普及率に対する含水率を厨芥の含水率と堆肥の含水率を考慮の上Figure 1のように仮定した。これにより、北大モデルを適用することによって、焼却場の燃焼効率の上昇といった要素も分析に組み込まれることとなる。

3.1.2 生ごみ処理機の仕様においた仮定

Table 2に本研究におけるモデル機としての生ごみ処理機の仕様を示す。生ごみ処理機の価格は機械統計年報²⁰⁾に生ごみ処理機の項目が設けられるようになった1997年の出荷台数と出荷額から1台あたりの価格を概算し仮定した。生ごみ処理機の型式はバイオ型とした。これは1995年から2002年の家庭用生ごみ処理機32機種の各社のパンフレットを検討した結果、75%に当たる24機種がバイオ型であったためこちらの方が一般的であると判断したためである。一般に消費電力はバイオ型より乾燥型の方が大きいので、本研究では相対的に環境負荷が小さい生ごみ処理機についての分析を行うものとなる。国民生活センターが行った実機によるテスト²¹⁾に用いられたバイオ型のテスト機の平均値を参考に、本体重量、最大処理能力、バイオチップコストについてTable 2のように設定した。これはパンフレットから得られた生ごみ処理機の仕様と比較してもほぼ妥当な仮定となっている。消費電力に関しては、国民生活センターにおけるテスト時と同様とし、電気代は1kWh = 23円として仮定されている。

Figure 1. The assumption of percentage of water content in case of that generated compost is discarded as general waste

Table 2. The specification of garbage disposal for household in the estimation

Purchasers' price	45,000 (yen)
Service life	5 (years)
Weight	13.8 (kg)
Disposal capacity of garbage	1.5 (kg/a day)
Electricity costs	12,179 (yen/a year)
Cost for bio-chips	5,508 (yen/a year)

本研究では、このモデル機の24時間稼動を仮定する。排水は通常排出されないことから未発生と仮定し、処理しきれない残渣物は生ごみ処理機の容量に対して十分に微小であることから、生ごみ処理機内に残留するものとする。

3.1.3 東京都から排出される厨芥量

東京都から排出される厨芥量は旧東京都清掃局¹⁰⁾の調査によって得られた世帯別排出原単位をもとに1,134,567トンと推計された。同資料より東京都における1世帯当たりの厨芥排出量は平均614.7g/日であることから、3.1.1節において仮定した1.5kg/日の最大処理能力を持つ生ごみ処理機によって十分処理可能な量であることがわかる。したがって、普及率を100%とした場合、東京都の家庭からの厨芥排出量が0となることになるため、本節の分析では生ごみ処理機を導入した家庭からは自治体は収集・処理対象となる厨芥の排出はないものと仮定した。このとき、生成される堆肥は一世帯あたり年間44.9kgと考えられる。

3.1.4 厨芥処理時に発生する温暖化ガスについての仮定

3.1.2節で設定したモデル機はバイオ型であるので微量ではあるが堆肥化の過程において温暖化ガスの発生が想定される。2007年時点においてバイオ型の家庭用生ごみ処理機を生産しているメーカーから聞き取り調査を行ったところ、生ごみ処理機から発生される温暖化ガスの種類は二酸化炭素のみでメタンの発生はないとのことであった。これはバイオチップに含まれる菌が好気性のためである。二酸化炭素の排出量についてはメーカーは公表していないとのことである。そこで、本研究では北大モデル⁵⁾における堆肥化施設とほぼ同等の温暖化ガスの排出が行われるものと仮定して、二酸化炭素発生量 G_{DTC} (t-C/年)を式(6)ですることとした。

$$G_{DTC} = q_s(1-r_B)C \quad (6)$$

但し、 q_s は厨芥ごみ量(t/年)、 r_B は堆肥化率で0.25、 C は厨芥に含まれる炭素の割合(湿ベース)で0.064とした。これらのパラメータについては北大モデルのデフォルト値を採用した。

3.1.5 地域間廃棄物産業連関表との部門対応

3.1.2節で設定した生ごみ処理機の1台あたりの価格は購入者価格であり、商業マージンと国内貨物運賃等の運輸マージンが含まれている。本研究では購入者価格に占める製品と各マージンの金額比を一定と仮定し、生ごみ処理機本体とバイオチップ代に関してその比率に応じて流通マージンを考慮した²²⁾。製品と各マージンの金額比については東京都において独自の推計が行われていないため、総務省が発表する1995年版産業連関表の産出表の基本分類の

「3212-02民生用電気機器（除エアコン）」の流通マージンの値を参照した。

このモデル機が東京都の各世帯に普及した場合、国全体における経済活動水準及び環境負荷（廃棄物量、二酸化炭素排出量、最終処分量）はどのような影響を受けるかを分析する。耐用年数の仮定から稼働台数の1/5を買い替え需要による年間販売台数とする。ランニングコストとしては、バイオチップ代と電気代を考える。生ごみ処理機の購入と生ごみ処理機に付帯する生産物であるバイオチップの費用は「53）民生用電気機械」、電気代は「62）電気業」の需要として考え、これらは東京都とその他地域に発生するものとする。地域ごとの需要はそれぞれの部門の生産額の行和（ $X^{(T)}$, $X^{(R)}$ ）に応じて按分して設定した。耐用年数を超過した生ごみ処理機は「27）破碎：小型家電」分類の粗大ごみとして廃棄されるものとする。

これらを考慮した結果、 X_f 、 W_f 、 E_f に関するシナリオをTable 3に示す。Table 3に示したのは普及率が0%と100%の場合のみであるが、分析に当たっては1.5%及び5%から100%まで5%ごとにシナリオを設定し、これらの部門の値は0%を基準として、0%と100%の場合の差に普及率を乗じたものを加えた値とした。つまり、普及率に対し線形な値を設定している。

3.1.6 単位二酸化炭素直接排出量の変化に伴うシナリオ設定

廃棄物産業連関分析によるLCAは、積み上げ法と比較して部門分類が荒いため対象となる製品の生産構造を十分に反映しているかどうかという点が問題点として挙げられる。しかし、製品によってはインベントリ分析を行うための情報が得られないものもある。家庭用生ごみ処理機もその一例として挙げられる製品である。家庭用生ごみ処理機を生産するメーカーに聞き取り調査を行ったところ、2007年8月現在においていずれのメーカーも素材構成、組立工程時のエネルギー消費量といった情報に関する公開を行っていないとの回答が得られた。これらの情報が不明な以上、部門分類として「家庭用生ごみ処理機」を東京都廃棄物産業連関表の「53）民生用電気機械」から分けて別部門とすることも困難である。

そこで、本研究では「53）民生用電気機械」部門の生産活動に伴う直接CO₂排出量についていくつかのシナリオを設け、影響を調べることにした。東京都廃棄物産業連関表の二酸化炭素排出量の推計に当たっては南斉、森口らの3EID¹³⁾の推計結果を用いている。3EIDの部門分類は総務省及び東京都の産業連関表の基本分類とほぼ対応しており、家庭用生ごみ処理機は「321201 民生用電気機器」に該当する。このとき、この部門における単位直接CO₂排出

Table 3. Scenarios of X_f , W_f and E_f when the penetration rate of garbage disposal for household use is 100% and 0%

	Code	Sector name	the penetration rate of garbage disposal for household use	
			100%	0%
$X_f^{(TT)}$ (million yen)	53	Household electric appliances	154,894	146,467
	62	Electricity	39,705	28,115
	67	Wholesale trade	1,597,506	1,595,323
	68	Retail trade	4,495,243	4,478,993
	69	Railway transport	679,736	679,735
	70	Road transport service	654,194	654,108
	71	Other services relating to transport	941,517	941,500
$X_f^{(RT)}$ (million yen)	53	Household electric appliances	658,679	622,846
	62	Electricity	437,388	388,101
	67	Wholesale trade	1,913,501	1,904,217
	69	Railway transport	4,032	4,029
	70	Road transport service	329,026	328,661
	71	Other services relating to transport	48,516	48,446
$E_f^{(T)}$ (t-CO ₂)	Emission of CO ₂		252,125,769	252,071,310
In case of that all generated compost is used in households				
$W_f^{(T)}$ (million yen)	1	Garbage	0	1,134,567
	27	Shredded solid waste: small household appliances	47,426	36,430
In case of that generated compost is discarded as general waste				
$W_f^{(T)}$ (million yen)	1	Garbage	170,185	1,134,567
	27	Shredded solid waste: small household appliances	47,426	36,430

Table 4. Scenarios when the unit direct CO₂ emission changes

Scenarios when the unit direct CO ₂ emission changes		Scenarios of the usage of generated compost		Scenarios of the penetration rate of garbage disposal for household use	
Case a)	The unit direct CO ₂ emission of household electric appliances sector = 8.48×10^{-3} (t-CO ₂ / million yen)	I)	All generated compost is used in households	1) 1.5%	5% to 100 % at 5% intervals
				2) 5%	
				3) 10%	
Case b)	The unit direct CO ₂ emission of household electric appliances sector = 2.70×10^{-3} (t-CO ₂ / million yen)	II)	Generated compost is discarded as general waste	...	
Case c)	The unit direct CO ₂ emission of household electric appliances sector = 1.15×10^{-2} (t-CO ₂ / million yen)			21) 100%	

量は、 8.71×10^{-3} (トン/百万円) であり、「321101 電気音響機器」 1.15×10^{-2} (トン/百万円)、「321102 ラジオ・テレビ受信機」 8.00×10^{-3} (トン/百万円)、「321103 ビデオ機器」 2.70×10^{-3} (トン/百万円) と共に国内生産額に応じて部門統合を行うことによって東京都廃棄物産業連関表の「53 民生用電気機械」部門の単位直接CO₂排出量を 8.48×10^{-3} (トン/百万円) と推計している。そこで「53 民生用電気機械」部門の単位直接CO₂排出量について、基本分類別の最小値 2.70×10^{-3} (トン/百万円) から最大値である 1.15×10^{-2} (トン/百万円) までの値をシナリオとして設定するものとした。これらのシナリオと Table 3 で示したシナリオをまとめると、本研究で設定するシナリオは Table 4 に示すように 126通りとなる。

3.2 環境負荷に与える影響

単位直接CO₂排出量を東京都廃棄物産業連関表の推計値とした基準となるシナリオ a) における温暖化ガス排出量の影響を Figure 2-4 に示す。 $\Delta E_o^{(T)}$ 、 $\Delta E_o^{(R)}$ 、 $\Delta E_z^{(T)}$ 、 $\Delta E_z^{(R)}$ 、 $\Delta E_f^{(T)}$ 、 ΔE はそれぞれ家庭用生ごみ処理機を使用しない場合の環境負荷との差を示したものである。Figure 2 に示すように堆肥が全量自家処理されるシナリオ a-I-1) から a-I-21) において、東京都における廃棄物処理部門から二酸化炭素排出量 $\Delta E_z^{(T)}$ は大幅に減少しており、動脈部門からの二酸化炭素排出量 $\Delta E_o^{(T)}$ および家庭における生ごみ処理機の稼動時に排出される二酸化炭素量 $\Delta E_f^{(T)}$ の増加分より $\Delta E_z^{(T)}$ の減少分大きい。この傾向は、Figure 4 に示した、家庭系一般廃棄物として排出した場合であるシナリオ a-II-1) から a-II-21) においても、東京都の環境負荷は $\Delta E_z^{(T)}$ の減少量がやや少なくなるものの大幅に減少しており、 $\Delta E^{(T)}$ が全体として減少している。一方、Figure 3 に示すようにその他地域においては、動脈部門からの二酸化炭素排出量は $\Delta E_o^{(R)}$ および廃棄物処理部門から二酸化炭素排出量 $\Delta E_z^{(R)}$ はいずれも増加している。

東京都とその他地域を併せた全体としての排出量 ΔE について Figure 5 に示した。この結果、単位直接排出量が小さいとしたシナリオ b) の場合の普及率が 10% 以下の場合のみであり、いずれの場合も普及率の上昇と共に環境負荷が増大する傾向にある。Figure 5 に示されているように普及率に対する二酸化炭素排出量はほぼ線形の関係となっている。しかし、シナリオ I では普及率 20% と 25% 間でシナリオ II では普及率 25% と 30% 間において、やや傾きが異なっている。これは家庭用生ごみ処理機の普及にともなう処理量の減少によって、東京都市部の廃棄物処理施設における焼却対象廃棄物量の量が変化し、それに伴いごみを焼却した際の減量率が変化したためである。本研究では、廃棄物処理活動に関する原単位の同定には田中・松藤らの北大モデルを採用しているが、このモデルでは強熱減量率のパラメータは処理対象ごみ量が 200 トン/日以上の場合には 0.03、200 トン/日未満の場合には 0.05 と仮定されている。廃棄物処理活動にはこのような非線形な閾値によって処理特性や処理方法が切り替わることが多く、廃棄物産業連関分析の静脈部門に関する非線形性が分析結果に現れている。

最終処分量を処分場面積で評価すると、生成された堆肥が全量自家処理されるものとした場合の結果はほぼ線形となっている。普及率 100% の場合、東京都における最終処分場面積の削減効果は 104,820 m²/年でありこれは東京都の最終処分場面積 2.94% に当たる。一方、その他の地域では 42,751 m²/年と 4.23×10^{-2} % 増加しており、全体としては 4.27×10^{-2} % の削減効果が得られている。

生成された堆肥が家庭系一般廃棄物として排出される場合の結果もほぼ同様であったが、東京都における削減効果は全量自家処理されるものとした場合に対して 83.7% に当たる 87,700 m²/年に留まり、全体としては 72.3% に当たる 44,884 m²/年に留まっている。

Figure 2. Emission of CO₂ for Scenario a-I-1) to a-I-21) in Tokyo Figure 4. Emission of CO₂ for Scenario a-II-1) to a-II-21) in Tokyo Figure 3. Emission of CO₂ for Scenario a-I-1) to a-I-21) in other region Figure 5. ΔE of Emission of CO₂

3.3 動脈部門および・静脈部門に与える影響

動脈部門および静脈部門に与える影響はシナリオ a、b、c および I、II に関わらず、普及率に対してほぼ線形の関係にある。動脈部門に与える影響は Figure 5 に示す通りであり、生成された堆肥の処理方法に関わらず傾向および大きさに関してほぼ同様である。経済全体に与えた影響としては普及率 100 % において全体の $2.90 \times 10^{-2} \%$ に当たる 1,407 億円となる。いずれの場合においても、経済活動への影響 ΔX_o は東京都 $\Delta X_o^{(T)}$ およびその他地域 $\Delta X_o^{(R)}$ において好影響を受けている。産業部門別に見た場合、「56) その他の自動車」、部門のみは減少傾向にあるが、これは廃棄物処理部門における輸送量が減少した影響によるものであろう。他の部門はすべて増大傾向にあり、「54) その他の電気機械器具製造業」や「78) その他のサービス業」への影響は地域に関わらず大きい。これに対して、「62) 電気業」に関してはその他地域において特に影響が顕著に大きくなっている。

Figure 6. Economic activity of for the penetration rate of garbage disposal for household use

動脈部門から排出される廃棄物への影響 ΔW_o に関しては、全体としては $5.79 \times 10^{-2} \%$ に当たる 76,988 トン増加している。特に生ごみ処理機の需要に誘発された産業活動に伴い、その他地域における「12) 煤塵」、「17) 無機汚泥：中間処理後」、「14) 鉍滓」の増加が大きい。

廃棄物処理部門の活動が産業部門に与える影響は、東京都における削減効果が大きい。普及率100%の場合で $X_z^{(T)}$ は $1.38 \times 10\%$ と1割以上に当たる37.4億円減少しているが、その他地域ではほとんど影響がない。全体としては、 $3.20 \times 10^{-1}\%$ とわずかな減少である。東京都において影響を受け生産額が減少した部門は「62) 電気業」、「65) 水道業」、「75) 自動車整備業」、「76) 機械修理」であり、これは輸送負荷の軽減と焼却対象となる厨芥分の減少によるものと考えられる。これに対して、可燃対象物の減少により大規模焼却施設における熱供給や温水供給が減少したため、「64) 熱供給業」の生産額のみ11.7億円増加している。

廃棄物処理部門から排出される廃棄物量への影響 ΔW_z においても、東京都における削減効果が大きい。普及率100%の場合で $W_z^{(T)}$ は13.2%に当たる156,052トンが減少している。しかし、その他地域ではほとんど影響がなく、全体としては156,129トンに当たる $6.00 \times 10^{-1}\%$ とわずかな減少である。東京都において削減された廃棄物は、「13) 焼却灰」と「33) 溶融スラグ」が大半である。

4. まとめと今後の課題

本研究では地域の廃棄物対策が社会全体に及ぼす影響を考察するため、家庭用生ごみ処理機の補助金政策を事例として評価と分析を行った。東京都における生ごみ処理機が普及した場合、二酸化炭素排出量は生成される堆肥の処理方法に関わらず、東京都においては軽減されるが、その他地域では増大する。二酸化炭素排出量以外の影響については、いずれの地域やシナリオにおいても、動脈部門においては正の影響が生じ、需要が増大すると共に、排出されるごみ量も増大している。静脈部門においては、シナリオに関わらず、東京都においては需要・ごみ量共に大幅に減少し、その他地域においては需要は微増、ごみ量はわずかに減少する結果となっている。

東京都における二酸化炭素の排出量は産業部門と最終需要では増大するが、廃棄物処理部門における削減効果の方が高い。しかし、その他地域では産業部門における二酸化炭素排出量が大きく、廃棄物処理部門においても排出が増大している。このため、全体としては二酸化炭素排出量が増大する傾向にある。産業部門における単位直接排出量がビデオ機器並みに小さい場合には、普及率が10%以下であれば生成される堆肥の処理方法によらず東京都における削減効果が上回り、全体としての二酸化炭素排出量は削減する。普及率と二酸化炭素排出量の関係はいずれのシナリオの場合でもほぼ線形であるが、廃棄物処理部門の非線形性により、普及率によっては二酸化炭素排出量が相対的に軽減する場合もある。

すべての場合において、家庭用生ごみ処理機の助成と

いった政策は当該地域にとっては大きな設備投資を必要としない実施の容易な政策である。しかし、政策を実施した地域がそれ以外の地域への環境負荷の移転が著しい。同時に、厨芥処理負担の行政から家計への移転が行われているという問題もある。家計への負担がどのような波及効果を生じさせるのかについても別途検討が必要であろう。また、普及率と環境負荷は非線形な関係がみられるため注意が必要である。自治体の政策決定には他の地域への影響や、具体的な実施方法への留意が必要であることが改めて示された。今後の課題としては、これらの関係をさらに詳細に分析すると共に、他の廃棄物政策との比較を試みていきたい。

謝辞

本研究は東京国際大学平成18年度特別研究助成（個人研究）の助成を受けてなされた発表をもとに、平成19年度科学研究費補助金（基盤研究C、課題番号19510049）の援助を受けて行われた。ここに記して深く感謝の意を表したい。

（平成19年5月7日受付、平成19年9月7日採択）

引用文献

- 1) 日本電機工業会：“家庭用生ごみ処理機”，日本電機工業会, (オンライン), 入手先<<http://www.jema-net.or.jp/Japanese/kaden/gomi04.htm>>, (参照2007-1-15).
- 2) 佐久間信一, 福嶋規子, 川本克也：第7回廃棄物学会研究発表会講演論文集, (1996), pp.98-100.
- 3) 平井康弘, 酒井伸一, 高月紘：第10回廃棄物学会研究発表会講演論文集, (1999), pp.225-227.
- 4) 中村慎一郎編, “廃棄物経済学を目指して”, 早稲田大学出版部, 東京, (2002), pp.97-184.
- 5) 田中信寿, 松藤敏彦：“都市ごみの総合管理を支援する評価計算システムの開発に関する研究”, 北海道大学大学院工学研究科廃棄物資源高価講座廃棄物処理工学分野, (1998).
- 6) 筑井麻紀子：“1995年版東京都地域間廃棄物産業連関表”, 入手先<<http://www.tiu.ac.jp/~makiko/Japanese/TWIO/1995/TWIO95.htm>>, (参照2007-1-16)
- 7) Nakamura S: The Waseda journal of political science and economics, 340, (1999), pp.171-203 (中村慎一郎：早稲田政治経済学雑誌, 340号, (1999), pp.171-203[in Japanese])
- 8) Tsukui M.: The Journal of Tokyo International University, 74, (2006), pp.43-63 (筑井麻紀子：東京国際大学論叢, 74号, (2006), pp.43-63[in Japanese])
- 9) 東京都総務局統計部調整課統計解析係, “平成7年(1995年)東京都産業連関表”, 入手先<<http://www.toukei.metro.tokyo.jp/sanren/sr-index.htm>>, (参照2003-9-1)

- 10) 東京都清掃局：“平成7年排出源等ごみ性状調査報告書”，(1996)
- 11) 東京都清掃局：“平成4年度事業系一般廃棄物総合調査”，(1992)
- 12) 環境省：“首都圏の廃棄物の広域移動の状況について平成10年度”，入手先<<http://www.env.go.jp/recycle/waste/koiki/>>, (参照2001-6-22).
- 13) Nansai K., Moriguchi Y: “Embodied Energy and Emission Intensity Data for Japan Using Input-Output Tables”，入手先<<http://www.cger.nies.go.jp/publication/D031/>>, (参照2007-8-11).
- 14) 環境省：“廃棄物処理技術情報 一般廃棄物処理実態調査結果 平成10年度”，入手先<http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/index.html>, (参照2001-6-22)
- 15) 総務省統計局統計調査部国勢統計課：“平成7年国勢調査 確定 人口及び世帯数”，入手先<<http://www.stat.go.jp/data/kokusei/1995/08.htm>>, (参照1996-9-30)
- 16) 内閣府経済社会総合研究所国民経済計算部：“県民経済計算年報 平成08年版”，大蔵省印刷局, (1996)
- 17) 総務省統計局統計調査部国勢統計課：“統計でみる市区町村のすがた2005 C 経済基盤”，入手先<<http://www.stat.go.jp/data/ssds/5b.htm>>, (参照2005-6)
- 18) 筑井麻紀子：“1995年版東京都地域間廃棄物産業連関表”，入手先<<http://www.tiu.ac.jp/~makiko/Japanese/TWIO/1995/TWIO95.htm>>, (参照2007-8-11)
- 19) 筑井麻紀子：第2回日本LCA学会研究発表会講演要旨集, (2007), pp.318-320
- 20) 経済産業省経済産業政策局調査統計部編：“機械統計年報”，(1999-2004)
- 21) 鈴木弘彦：月間廃棄物, 2001年4月号, (2001), pp.14-23
- 22) (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構：“「二酸化炭素固定化・有効利用技術等対策事業 製品等ライフサイクル二酸化炭素排出評価実証等技術開発 製品等に係るLCA及び静脈系に係るLCAの研究開発」平成16年度成果報告書”，(2005)