

地域廃棄物管理のための マテリアルバランス表の作成

田畑智博¹・岩本薫²・奥田隆明³・森杉雅史⁴・井村秀文⁵

¹ 学生会員 工修 名古屋大学大学院 環境学研究科都市環境学専攻 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

² 環修 桑名市役所 (〒511-8601 三重県桑名市中央町2丁目37番地)

³ 正会員 工博 名古屋大学助教授 環境学研究科都市環境学専攻 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

⁴ 正会員 工博 名古屋大学助手 環境学研究科都市環境学専攻 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

⁵ 正会員 工博 名古屋大学教授 環境学研究科都市環境学専攻 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

循環型社会の実現を見据えた廃棄物管理においては、3R(発生抑制,再利用,再資源化)による適正処理の推進を図るとともに、廃棄物処理の伴う環境影響を抑制することが求められるといえる。本研究では動脈部門における財・サービスの生産・消費活動、静脈部門における廃棄物活動に伴う物質の投入・産出構造を体系的に把握可能なマテリアルバランス表を作成した。これを愛知県の実地政策の評価に利用するとともに、本表を政策評価に用いることの有用性について検討した。

Key Words: material balance table, waste management, waste input-output table,
Recycling-based society

1. 始めに

動脈部門における財・サービスの生産活動や家計の活動により発生した廃棄物は、動脈部門や静脈部門の廃棄物処理業における3R(発生抑制,再利用,再資源化)により適正処理されることで、動脈部門への資源の再循環がなされている。これにより、動脈部門及び静脈部門における資源や財、廃棄物などのマテリアルバランスが保たれている。将来における資源循環の実現においては、廃棄物の発生抑制・適正処理を推進することで再生利用量の増加及び最終処分量の減少を図るとともに、動脈部門での資源の受け入れなどを推進していく必要がある。そのためには、両部門での諸活動に伴う資源、財、廃棄物といった物質の投入・産出のバランスを捉えていくことが重要である。このような物質の投入・産出構造を体系的に把握可能なものとして、マテリアルバランス表の作成が考えられる。

マテリアルバランス表を作成する手段としては、積み上げ法を用いることや、産業連関分析の枠組みを利用することが考えられる。このうち後者に関しては数多くの研究がなされている。例を挙げると、中村ら¹⁾の廃棄物産業連関表、稲村ら²⁾の環境対策SNA型産業連関表、森口ら³⁾の物質投入産出表などがある。しかしその大部分は全国や世界レベルといったマクロな分析を行うことを主としている。また一般・産業廃棄物の排出及び処理状況は地域ごとに異なることから、地域レベルでのミクロな分析を行うためには、その地域の産業構造やライフスタイル、廃棄物排出・処理状況などを考慮したうえで、地域

ごとに独自のマテリアルバランス表を作成することが重要である。廃棄物管理政策は都道府県や市町村といった地域レベルで実施されるため、諸政策を作成もしくは評価する際に、地域の実情に合った形でマテリアルバランス表を作成し、これを利用することが有用であると考えられる。

また資源循環の実現を見据えた廃棄物管理政策の実施には、廃棄物の発生抑制や適正処理を推進することは勿論であるが、更に処理活動に伴う環境影響を考慮する必要があるといえる。そのためマテリアルバランス表に環境影響の評価項目を組み込むことで、資源循環の実現を見据えた廃棄物管理政策を作成及び評価するためのツールとなりうる。

以上を踏まえ、本研究では、①愛知県をケーススタディとし、動脈部門での財・サービスの生産活動や家計の活動、活動に伴う廃棄物排出状況及び静脈部門での廃棄物処理活動における物質の投入・産出構造を体系的に把握可能なマテリアルバランス表を作成すること、②愛知県が廃棄物管理政策として策定・実施している廃棄物処理計画の有効性について、マテリアルバランス表を適用して評価するとともに、本表を政策評価に用いることの有用性について検討すること、の二点を研究の目的とする。

本研究で作成するマテリアルバランス表は、早稲田大学の中村らが開発した廃棄物産業連関表を用いる。廃棄物産業連関表とは、動脈・静脈部門での財・サービスの取引と廃棄物の排出及び処理の相互関係を数量的に把握したものであり、産業連関表での分析手法が適用可能である。しかしながら、

現時点までに作成されている廃棄物産業連関表では、地域レベルでの一般・産業廃棄物の排出・処理状況の把握が困難である。そのため本研究では、愛知県における廃棄物の排出や再生利用などを含めた処理状況を表に組み込むことで、表の修正を行った。また廃棄物産業連関表はその構造(動脈部門は金銭ベース、静脈部門は物量ベースで表されていることから、本表をマテリアルバランス表として用いるには不完全であるとの批判があるかもしれないが、今回は特に静脈部門における廃棄物のマテリアルバランスに着目した研究を行うこと、またデータの・時間的制約などから、廃棄物産業連関表を利用した。

なお今回は愛知県をケーススタディとしているが、愛知県は日本の三大都市である名古屋市を抱えるだけでなく、製造業や農業が盛んであるなど、都市と産業のバランスがとれた県である。その一方で産業廃棄物や一般廃棄物の排出量は全国平均値より高い水準にある。地域によらず、循環型社会を形成するには、現在の生産活動を維持しながら如何に 3R を推進していくかが重要である。そのためより実効性の高い廃棄物処理計画を策定・実施するためにはどのような施策を行うべきかを検討するうえで、愛知県がテストケースとして適当であると判断した。

研究のフローを図-1 に示す。第一に、マテリアルバランス表について、廃棄物産業連関表の概要について示すとともに、廃棄物産業連関表を修正することで、愛知県におけるマテリアルバランス表の作成を行う。第二に、廃棄物管理政策として、愛知県の廃棄物処理計画で定められた減量化目標を達成するための施策として再生利用量増加及び排出抑制を挙げ、マテリアルバランス表を用い、現状に対してこれらの施策を実施した際の目標の達成度合い及び環境影響についてシナリオ設定及び分析を行う。第三に、シナリオ分析の結果を踏まえて、マテリアルバランス表を環境政策の評価に用いることの有効性について検討する。

2. マテリアルバランス表の作成

2.1. 廃棄物産業連関表の概要^{4),5)}

廃棄物産業連関表の雛型を図-2 に示す。財投入行列は金額ベース、廃棄物排出及び投入部門は重量ベースである。 X は N 部門の財生産額の行和であり、その第 i 要素 X_i は第 i 部門の生産額を表す。同様に、 W_o は M 種類の廃棄物の排出量の行和、 W_i は M 種類の再資源可能な廃棄物の投入量の行和、 E は環境負荷因子排出量の行和である。各部門の記号の下付き文字である o, z, f は、産業部門、廃棄物処理部門、最終需要部門をそれぞれ表す。

廃棄物処理部門では、廃棄物排出量 W_o から再資源化可能な廃棄物投入量 W_i を差し引いた、廃棄物処理対象量 Wd によってその活動量が表される。一般に廃棄物の種類は、静脈部門における廃棄物処理部門での処理方法の種類より多いと考えられる。そのため廃棄物処理対象量 Wd は非正方行列となることが想定される。これを産業連関分析が可能な正

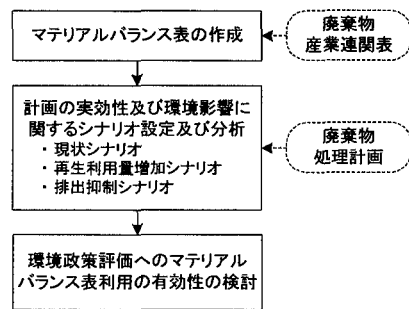


図-1 研究のフロー

	産業		最終需要	行和
	動脈部門	静脈部門		
財投入	X_o	X_z	X_f	X
廃棄物排出	W_{o_o}	W_{o_z}	W_{o_f}	W_o
廃棄物投入	W_{i_o}	W_{i_z}	W_{i_f}	W_i
廃棄物純投入	$SWd_o = S(W_{o_o} - W_{i_o})$	$SWd_z = S(W_{o_z} - W_{i_z})$	$SWd_f = S(W_{o_f} - W_{i_f})$	$SWd = S(W_o - W_i)$
環境負荷因子排出	E_o	E_z	E_f	E
付加価値	V_o	V_z		

図-2 廃棄物産業連関表の雛型(一部修正を加えた)^{4),5)}

	産業	
	動脈部門	静脈部門
財投入	$A_o = X_o / X$	$A_z = X_z / X$
廃棄物純投入	$SG_o = W_{d_o} / Wd$	$SG_z = W_{d_z} / Wd$

図-3 投入係数行列(一部修正を加えた)^{4),5)}

方行列の形に変換するため、ここでは配分行列 S を用いて SWd という形に変更する。これは各部門が廃棄物処理部門にどれだけ廃棄物を投入したかを表すものになるので、廃棄物純投入といえることができる。

図-2 において、財投入と廃棄物純投入との列の要素に対応する生産・活動量の行和で除して、生産・活動原単位あたりの投入係数行列(図-3)を得る。ここで A_o は通常の産業連関分析における投入係数、 G は廃棄物純投入係数である。図-3の投入係数行列より、図-2における財投入と廃棄物純投入の列の要素との需給均等式を、次式的ように行列表記する。

$$\begin{pmatrix} A_o & A_z \\ SG_o & SG_z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ SWd \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_f \\ SWd_f \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X \\ SWd \end{pmatrix} \quad (1)$$

投入係数と最終需要が所与であるとして、式(1)を X と SWd について解き、以下を得る。

$$\begin{pmatrix} X \\ SWd \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I - A_o & -A_z \\ -SG_o & I - SG_z \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} X_f \\ SWd_f \end{pmatrix} \quad (2)$$

		産業			最終 需要	行和
		動脈 部門	靜脈部門			
			産業	市町村		
財投入		X_o	X_z^i	X_z^m	X_f	X
産業 廃棄物	排出	Wo_o^i	Wo_z^i	-	-	Wo^i
	再生 利用	Wi_o^i	Wi_z^i	-	-	Wi^i
	処理	SWd_o^i	SWd_z^i	-	-	SWd^i
	排出	Wo_o^m	-	Wo_z^m	Wo_f^m	Wo^m
	再生 利用	Wi_o^m	-	Wi_z^m	Wi_f^m	Wi^m
	処理	SWd_o^m	-	SWd_z^m	SWd_f^m	SWd^m
環境負荷因子 排出		E_o	E_z^i	E_z^m	E_f	E

図-4 本研究で使用する廃棄物産業連関表の形式

表-1 廃棄物産業連関表の対象部門

農業	非鉄金属
鉱業	金属
製造業	一般機械
食料品	電気機械
飲料・飼料	輸送機械
繊維	精密機械
衣服	その他製造業
木材	
家具	建設業
パルプ・紙	電気・水道業
出版・印刷	商業
化学	運輸業
石油・石炭	サービス業
プラスチック	その他業種
ゴム	林業
皮革	漁業
窯業・土石	金融・保険
鉄鋼	不動産
	その他業種

表-2 本研究と既存報告書における廃棄物の対象分類

対象分類	産業廃棄物*1	一般廃棄物(事業系含む)*2
厨芥	-	厨芥
紙類	紙くず	紙類
繊維類	繊維くず	繊維類
廃プラスチック類	廃プラスチック類	廃プラスチック類
鉄屑, 非鉄金属屑	金属くず	鉄屑, 非鉄金属屑
生き瓶	-	生き瓶
ガラス屑, 陶磁器類	ガラス・陶磁器くず	ガラス屑, 陶磁器類
ゴム類	ゴムくず	ゴム類
動植物性残渣(含草木)	動植物性残渣	草木
煤塵	ばいじん	-
焼却灰	燃え殻	-
鉱滓	鉱さい	-
木くず	木くず	-
汚泥(有機性, 無機性)	汚泥(有機性, 無機性)	-
廃油	廃油	-
廃酸	廃酸	-
廃アルカリ	廃アルカリ	-
建設廃材	がれき類	-
動物のふん尿	動物のふん尿	-
破碎 粗大繊維類	-	粗大繊維類
木製家具	-	木製家具
自転車・ガスレンジなど	-	自転車・ガスレンジなど
小型・大型家電	-	小型・大型家電
自動車	-	-
その他の廃棄物	その他の廃棄物	-

*1: 愛知県廃棄物処理計画策定調査報告書の分類による)

*2: 田中らの分類による)

式(2)より,生産 X ,活動量 SWd は,投入係数 A , G と最終需要 X_o , SWd_f で表され,廃棄物の排出抑制や再資源化率の変更が及ぼす,廃棄物処理部門が処理する廃棄物量を分析することが可能となる.また動脈部門での生産額及び静脈部門での活動量に各部門ごとの環境負荷因子排出原単位を掛け合わせることで,各部門ごとの環境負荷因子排出量を推計することが可能である.

2.2. 廃棄物産業連関表の修正

本研究では図-2 の廃棄物産業連関表の雛型を踏まえ,地域の産業廃棄物と一般廃棄物の排出構造を把握可能であるようにするため,廃棄物産業連関表を図-4 の表の形に修正し

た.列部門の名称は本研究での利用のし易さを考慮して,「廃棄物投入」を「廃棄物再生利用」に,「廃棄物純投入」を「廃棄物処理」に変更した.ここでの「廃棄物処理」には,減量化及び最終処分が含まれる.廃棄物処理部門において,産業廃棄物は産業で,一般廃棄物は市町村で処理されるものとして取り扱う.各部門の記号の付き文字である i, m は,産業廃棄物,一般廃棄物をそれぞれ表す.図-4 における財投入と廃棄物処理の列の要素との需給均等式は,式(1),式(2)で表現可能である.なお産業廃棄物処理部門で発生する廃棄物は産業廃棄物として,一般廃棄物処理部門で発生する廃棄物は一般廃棄物として,それぞれ処理されると仮定した.

2.3. マテリアルバランス表のデータ設定

2.3.1. 使用データ

図-4 の各部門の要素について、使用データ及びその推計方法を以下に示す。

a) 財投入の列の要素(X_o, X_f)

愛知県の産業連関表(1995 年表)より財・サービスの取引額を用いる⁹⁾。対象とする動脈部門における産業は、表-1 に示す 31 部門である。

b) 産業廃棄物処理部門の列の要素($W_{o,i}, W_{f,i}, W_{d,i}$)

1999 年度における愛知県の産業部門別の産業廃棄物排出量及び再生利用量を用いる⁷⁾。本来ならば財投入の列要素の値と使用データの年度を一致させなければならないが、データの制約上年度の異なるデータを用いている。本研究と既存報告書とでの産業廃棄物の種類の分類を表-2 に示す。本研究の廃棄物の分類は廃棄物産業連関表の分類を基本とするが⁴⁾、廃棄物としての排出がない種類については表示を省いている。

廃棄物処理部門における廃棄物処理施設は、表-3 に示す減量化(焼却、破碎)及び最終処分⁵⁾の 3 分類 5 種類に設定する⁴⁾。なお廃棄物の輸送も考慮しているが、ここではそれぞれの施設は併設しているものと仮定する。輸送条件の設定を表-4 に示す。輸送条件は各施設一定である。

c) 一般廃棄物処理部門の列の要素($W_{o,m}, W_{f,m}, W_{d,m}, W_{o,f}, W_{f,f}, W_{d,f}$)

1999 年度における愛知県の一般・事業系一般廃棄物の排出量を用いる⁹⁾。但し、し尿は除外している。一般・事業系一般廃棄物については、種類別の排出量がわからなかったため、廃棄物産業連関表の排出原単位に、一般・事業系一般廃棄物の排出量の合計を掛け合わせることで、種類別の排出量を推計した⁴⁾。廃棄物処理部門における廃棄物処理施設は、表-3 に示す 5 種類を対象としている。表中の分類は、廃棄物産業連関表での処理分類と同じである。

d) 財投入の列の要素(X_e^i, X_e^m)

愛知県の産業連関表(1995 年表)より、産業部門別の廃棄物処理業への財・サービスの取引額を用いる⁹⁾。愛知県の産業連関表では、廃棄物処理業は産業と市町村との区別が無い¹⁰⁾ため、各産業部門からの産業及び公営の廃棄物処理業への投入額は全国産業連関表での割合と同様であると仮定し¹⁰⁾、各産業部門からの廃棄物処理業への投入額に産業及び公営の割合を掛け合わせることで、産業及び市町村の廃棄物処理業への投入額を推計した。

産業及び市町村における廃棄物処理の種類ごとの投入額については、廃棄物処理の種類ごとの投入額原単位を用い、これに産業及び市町村の廃棄物処理業への投入額を掛け合わせることで推計した⁴⁾。

e) 産業廃棄物、一般廃棄物処理部門の列の要素($W_{o,i}, W_{f,i}, W_{d,i}, W_{o,m}, W_{f,m}, W_{d,m}$)

1999 年度における廃棄物処理業(産業、市町村)からの廃棄物排出量を用いる⁷⁾。産業の廃棄物処理業からは産業廃棄物が、市町村の廃棄物処理業からは一般廃棄物が排出さ

表-3 廃棄物処理施設の分類

	焼却炉規模	発電の形態	使用燃料
	[t/日]		
焼却(1)	500	場内動力+外部供給	軽油
焼却(2)	180	場内動力+外部供給	軽油
焼却(3)	30	場内動力	軽油
破碎	-	-	重油+軽油
最終処分	-	-	重油+軽油

表-4 輸送条件

収集車	輸送速度	片道輸送
容積 [m ³]	[km/h]	距離 [km]
8	40	10

れると仮定する。

f) 環境負荷因子排出の列の要素(E_o, E_f)

廃棄物産業連関表を用いた評価として、例えば中村らは CO₂ 排出量を用いた分析を行っている⁹⁾。本研究では CO₂ 排出量に加え、SOx 排出量、NOx 排出量の 3 項目を環境負荷因子の対象とした。廃棄物再生利用量及び最終処分量は、各種廃棄物の再生利用及び最終処分の割合を変化させることで推計可能である。また動脈部門における CO₂ 排出量、SOx 排出量、NOx 排出量の推計は、南齋ら¹¹⁾が 1995 年産業連関表より推計した部門別の排出原単位を用いることで行った。南齋らは産業 399 部門及び家計消費部門について、それぞれの排出原単位を推計している。本研究では、産業部門を、廃棄物処理業を除く 31 部門に統合した。また南齋らは日本全体を対象とした原単位の推計を行っている。これを愛知県に適用可能な形に補正するため、日本の産業別の国内生産額に対する愛知県の産業別の県内生産額の割合を、日本の産業別の原単位に掛け合わせることで補正した。

g) 環境負荷因子排出の列の要素(E_z^i, E_z^m)

表-3 に示す廃棄物処理施設の種類の環境負荷因子排出原単位について、推計方法を以下に示す。

・ CO₂ 排出原単位

各処理施設ごとに廃棄物の輸送、処理施設稼働時の燃料消費及び廃棄物焼却により CO₂ の排出が起こるものとし、北海道大学の田中らが開発した「廃棄物処理システム評価計算プログラム」を用いて算出した¹²⁾。但し施設内での CO₂ 排出量を対象とするため、電力の外部供給による排出分は考慮しない。

・ SOx 排出量、NOx 排出量

各処理施設ごとに、廃棄物の輸送、施設稼働時の燃料消費及び廃棄物の焼却により SOx 及び NOx の排出が起こるものとする。燃料の使用、廃棄物の焼却に伴う SOx 排出量、フューエル NOx 排出量は、燃料及び廃棄物の元素組成を用いて次式より算出する。但し施設内での SOx 及び NOx の排出を対象とするため、電力の外部供給による排出分は考慮しない。また廃棄物の輸送及び施設の稼働時の燃料消費量は「廃棄物処理システム評価計算プログラム」を用いて算出した¹²⁾。

$$E_{SO_2} = \frac{(s/32) \times 22.4}{G'} \times 10^6 \quad (3)$$

$$E_{NOx} = \frac{(n/14) \times 22.4}{G'} \times 10^6 \times \eta \quad (4)$$

乾き燃焼ガス量,理論空気量は次式より算出する.

$$G' = (m-1)A_0 + 0.8A_0 + 1.9c + 0.7s + 0.8n \quad (5)$$

$$A_0 = 8.9c + 26.5(h-o/8.0) + 3.3s \quad (6)$$

但し, E_{SO_2} : 燃料及び廃棄物中の S 分からの SOx 排出濃度[ppm], E_{NOx} : 燃料及び廃棄物中の N 分からのフューエル NOx 排出濃度[ppm], s, n, c, h, o : 燃料及び廃棄物 1kg あたりの硫黄[kg],窒素[kg],炭素[kg],水素[kg],酸素[kg], m : 空気比[-], G' : 燃料及び廃棄物 1kg あたりの乾き燃料ガス量[m³N], A_0 : 理論空気量[kg], η : N 分からフューエル NOx への転換率[-].

SOx 排出の大部分は SO₂ であるため,SO₂ 排出量を SOx 排出量とする.NOx 排出量はフューエル NOx を対象としたが,NOx はフューエル NOx とサーマル NOx に分類される.前者は燃料及び廃棄物中の N 分を発生起源,後者は空気中の N 分を発生起源としている.サーマル NOx は自然現象でも発生すること,またサーマル NOx は燃焼温度を抑制することで排出をコントロール可能であるが,フューエル NOx は燃料及び廃棄物中の N 分に依存して排出されること¹³⁾などの理由より,燃料及び廃棄物からのフューエル NOx の排出を対象とし,サーマル NOx は考慮しなかった.

なお計算の簡単化のため,施設の種類によらず空気比は 2.0, N 分からフューエル NOx への転換率は 1.0 と仮定する.廃棄物及び燃料の元素組成を表-5 に示す^{14),15),16)}.なお元素組成が分からなかった廃棄物については,元素組成が近いと考えられる廃棄物のものを用いた.

2.3.2. 配分行列の設定

配分行列を設定するため,廃棄物の種類ごとの処理割合を決定する.配分行列を表-6 に示す.産業廃棄物については,報告書⁷⁾より廃棄物の種類別の減量化と最終処分

表-5 廃棄物及び燃料の元素組成

	C分	H分	O分	S分	N分
厨芥類,動物のふん尿	4.77×10 ⁻¹	6.60×10 ⁻²	4.29×10 ⁻¹	1.00×10 ⁻²	2.50×10 ⁻²
紙類	4.70×10 ⁻¹	6.70×10 ⁻²	4.59×10 ⁻¹	3.00×10 ⁻⁴	4.00×10 ⁻³
繊維類,破砕:粗大繊維	4.90×10 ⁻¹	6.40×10 ⁻²	4.24×10 ⁻¹	5.00×10 ⁻⁴	1.40×10 ⁻²
廃プラスチック	7.50×10 ⁻¹	9.00×10 ⁻²	7.50×10 ⁻²	5.00×10 ⁻³	5.00×10 ⁻²
ゴムくず	9.00×10 ⁻¹	8.00×10 ⁻²	0	5.00×10 ⁻³	1.50×10 ⁻²
動植物性残渣,木くず,木製家具	4.95×10 ⁻¹	6.40×10 ⁻²	4.24×10 ⁻¹	5.00×10 ⁻⁴	1.40×10 ⁻²
汚泥(有機性,無機性)	5.05×10 ⁻¹	6.20×10 ⁻²	3.61×10 ⁻¹	1.20×10 ⁻²	5.50×10 ⁻²
廃油,廃酸,廃アルカリ	8.80×10 ⁻¹	1.00×10 ⁻¹	0	1.00×10 ⁻²	0
重油	8.58×10 ⁻¹	1.35×10 ⁻¹	1.50×10 ⁻³	4.40×10 ⁻³	1.00×10 ⁻⁴
軽油	8.61×10 ⁻¹	1.36×10 ⁻¹	0	2.70×10 ⁻³	0

単位: [-]

表-6 配分行列

	焼却(1)	焼却(2)	焼却(3)	破砕	最終処分
厨芥	3.09×10 ⁻¹	1.30×10 ⁻¹	4.62×10 ⁻¹	0	1.00×10 ⁻¹
紙類	3.19×10 ⁻¹	1.34×10 ⁻¹	4.78×10 ⁻¹	0	6.89×10 ⁻²
繊維類	3.19×10 ⁻¹	1.34×10 ⁻¹	4.77×10 ⁻¹	0	7.09×10 ⁻²
廃プラスチック類	2.02×10 ⁻¹	8.50×10 ⁻²	3.03×10 ⁻¹	0	4.10×10 ⁻¹
鉄屑	2.47×10 ⁻³	1.04×10 ⁻³	3.69×10 ⁻³	0	9.93×10 ⁻¹
非鉄金属屑	1.09×10 ⁻³	4.60×10 ⁻⁴	1.63×10 ⁻³	0	9.97×10 ⁻¹
ガラス屑	1.20×10 ⁻²	5.03×10 ⁻³	1.79×10 ⁻²	0	9.65×10 ⁻¹
陶磁器類	3.27×10 ⁻²	1.37×10 ⁻²	4.89×10 ⁻²	0	9.05×10 ⁻¹
ゴム類	1.90×10 ⁻¹	7.98×10 ⁻²	2.84×10 ⁻¹	0	4.46×10 ⁻¹
動植物性残渣(含草木)	3.35×10 ⁻¹	1.41×10 ⁻¹	5.02×10 ⁻¹	0	2.23×10 ⁻²
生き瓶,煤塵,焼却灰,鉍滓,汚泥	0	0	0	0	1.00
(有機性,無機性),建設廃材					
木くず,廃油,廃酸,廃アルカリ,動物のふん尿	3.43×10 ⁻¹	1.44×10 ⁻¹	5.13×10 ⁻¹	0	0
破砕 粗大繊維類	1.72×10 ⁻¹	7.20×10 ⁻²	2.57×10 ⁻¹	5.00×10 ⁻¹	0
木製家具	6.86×10 ⁻²	2.88×10 ⁻²	1.03×10 ⁻¹	8.00×10 ⁻¹	0
自転車・ガスレンジなど	0	0	0	5.00×10 ⁻¹	5.00×10 ⁻¹
小型・大型家電	0	0	0	5.00×10 ⁻¹	5.00×10 ⁻¹
自動車	0	0	0	1.00	0
その他廃棄物	0	0	0	0	1.00

単位: [-]

算出した.更にどの種類の廃棄物がどの種類の焼却施設で減量化されるかという割合は,廃棄物の種類別の減量化割合に,種類別の焼却施設の使用割合を掛け合わせることで算出した⁴⁾.一般廃棄物については産業廃棄物のように種類別の廃棄物の処理割合がわからなかったため,廃棄物産業連関表での廃棄物の処理割合と同じでとした⁴⁾.

2.3.3. マテリアルバランス表の作成結果

前項の設定を行うことで愛知県のマテリアルバランス表の作成を行った.その結果として,図-5 に動脈部門における財・サービスの流れ及び環境影響を,図-6 に静脈部門における廃棄物の流れ及び環境影響を示す.環境負荷因子の排出に関する結果として,静脈部門の動脈部門に対する CO₂ 排出量,SOx 排出量,NOx 排出量の割合は約 1.4~9.4%程度であり,動脈部門における産業活動による環境影響が大きいことがわかる.なお環境負荷因子の排出量の推計値に関して,動脈部門における CO₂ 中間投入分における SOx 及び NOx の排出推計値は,愛知県の調査^{17),18)}による排出量と同オーダ

一であったため、推計結果は適当であると判断した。

3. マテリアルバランス表の廃棄物管理への適用

3.1. シナリオの設定

愛知県における廃棄物管理の一例として、「愛知県廃棄物処理計画」を取り上げる。廃棄物処理計画は「廃棄物処理法」により、都道府県ごとに策定が義務付けられている。「廃棄物処理法」の改正などに従い、処理計画は特定の年度ごとに計画内容が変更されてきた。現在各都道府県が策定・実施している処理計画においては、2001 年の「循環型社会形成推進基本法」及び「廃棄物処理法」の完全施行に従い、「廃棄物の排出削減、3R+熱回収による廃棄物の循環利用、適正処理の確保」を計画内容としている¹⁹⁾。廃棄物処理計画における 1999 年度に対する 2010 年度における廃棄物減量化目標を表-7 に示す。表中で産業廃棄物は排出率が増えている。これは将来にかけて愛知県の産業が現状よりも盛んになるということを表していると考えられる。

ここでは廃棄物減量化目標を達成するための施策として廃棄物再生利用量の増加及び排出抑制を挙げ、マテリアルバランス表を用い、現状に対してこれらの施策を実施した際の減量化目標の達成度合い及び環境影響について評価及び検討する。評価のために今回設定したシナリオを以下に示す。

a) シナリオ 0(現状シナリオ)

図-6 の静脈部門における 1999 年度のデータをもとにした産業・一般廃棄物の再生利用、処理量及び環境影響を、現状シナリオとして取り扱う。

b) シナリオ 1(再生利用量増加)

現状シナリオに対して、廃棄物の再生利用量増加に関する施策を実施する。実施する施策としては、「循環型社会形成推進基本法」の関連法案の中でも廃棄物の再生利用に関する数値目標が明確に表されている、「建設リサイクル法」、「食品リサイクル法」、「家電リサイクル法」、「自動車リサイクル法」である。各種リサイクル法での対象廃棄物の再生利用率の目標を表-8 に示す²⁰⁾。

ここでは対象廃棄物の再生利用率を現状から表-8 の数値に変更し、変更分を表-6 の配分行列の減量化率、最終処分率

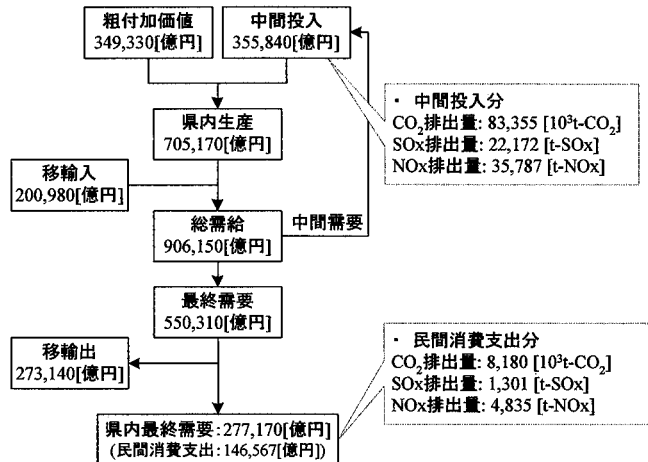
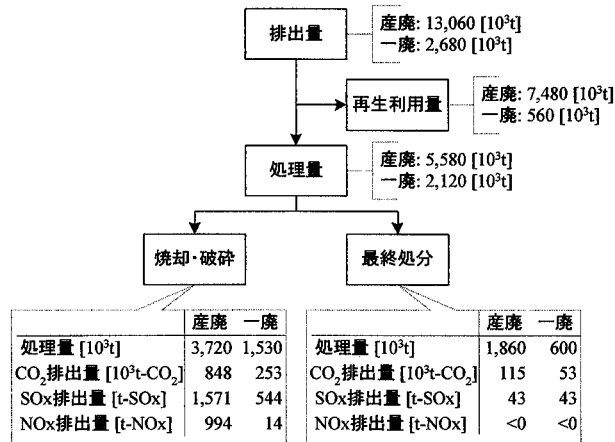


図-5 動脈部門における財・サービスの流れ及び環境影響



注) 事業系一般廃棄物は一般廃棄物に含む。産廃は産業廃棄物、一般は一般廃棄物を表す。

図-6 静脈部門における廃棄物の流れ及び環境影響

へ減少分として均等に転嫁させることで、廃棄物の再生利用、処理量及びこれに伴う環境影響を推計する。なお、再生利用量増加に伴い処理施設より生じる環境負荷は考慮していない。

c) シナリオ 2(廃棄物の排出抑制)

現状シナリオに対して、廃棄物の排出抑制に関する施策を実施する。排出抑制の数値目標としては、表-7 の値を用いる。産業廃棄物は排出率が増加しているが、これは排出抑制という観点からみて喜ばしいことではない。そのため、産業廃棄物については以下の派生シナリオを設定した。

- ・ シナリオ 2-(1)…排出割合を 1.07 とする
- ・ シナリオ 2-(2)…排出割合を一般廃棄物の場合と同じく 0.92 とする

ここでは現状での廃棄物の排出量及び再生利用量に排出割合を掛け合わせることで、廃棄物の再生利用量、処理量及びこれに伴う環境影響を推計する。

d) シナリオ 3(再生利用量増加+廃棄物の排出抑制)

現状シナリオに対して、廃棄物の再生利用量増加及び排出抑制に関する施策を実施する。ここで産業廃棄物の排出割合は 0.92 とする。

ここではシナリオ 1 とシナリオ 2 の手法を組み合わせることで、廃棄物の再生利用、処理量及びこれに伴う環境影響を推計する。

3.2. 施策実施による環境負荷因子排出について

以上より設定したシナリオによる施策の実施に伴う、廃棄物処理業における環境負荷因子の排出について、排出削減目標を以下のように取り扱う。

・ CO₂ 排出量

1997 年の地球温暖化防止京都会議以降、国は 1999 年に「地球温暖化対策の推進に関する法律」を施行し、愛知県も 2000 年に「愛知県地球温暖化対策地域推進計画」を策定している¹⁷⁾。これは 2010 年度の温室効果ガス排出量を 1999 年度に対して 6%削減することを目指すため、産業、民生、運輸、廃棄物処理部門などでの対策を示したものである。この中で廃棄物処理部門での CO₂ 排出削減割合は、想定する対策の違いから 15～40%に設定されている。そのためここでの CO₂ 排出削減目標は 15～40%とする。

・ SO_x 排出量、NO_x 排出量

SO_x 及び NO_x の排出については排出事業者ごとで規制値が決められているために、一般的な削減目標については明確な値がない。そのためここでは排出削減目標は設定せず、施策実施による削減効果にのみ言及する。

3.3. シナリオ分析

3.3.1. 再生利用、処理の結果

図-7 にシナリオ別の再生利用及び処理の割合を示す。

シナリオ 1 の結果は、産業・一般廃棄物ともに、シナリオ 0 に比べて再生利用量増加による最終処分量の減少の効果が見て取れる。一般廃棄物について、再生利用割合は約 18%に向上し、減量化及び最終処分割合は 3～5%減少している。産業廃棄物について、再生利用割合は約 4%の向上がみられたが、処理割合に関してはシナリオ 0 の結果と同じである。産業廃棄物については建設廃材が対象となっているのみであり、また建設廃材は初期設定より減量化が行われず、最終処分のみ行われるためである。しかし建設廃材は産業廃棄物に占める排出割合が大きい(産業廃棄物排出量合計の約 23%)⁷⁾、最終処分割合については約 15%と大幅に減少している。

各種リサイクル法を実施することで再生利用量の増加や最終処分量の減少が期待できるが、得られた結果は表-7 の目標値には程遠いものである。今回利用したリサイクル法は対象としている廃棄物が少なく、また産業廃棄物については

表-7 1999 年度に対する 2010 年度における廃棄物減量化目標

	排出	再生利用	減量化(中間処理)	最終処分
産業	1.07	1.07	1.32	0.59
一般	0.92	1.57	0.88	0.59

単位: [-]

注) 1999 年度を 1.0 とする。産業は産業廃棄物、一般は一般廃棄物を表す。

表-8 各種リサイクル法における対象廃棄物の再生利用率の目標

	再生利用率	対象廃棄物
建設リサイクル法	0.95	建設廃材
食品リサイクル法	0.20	厨芥
家電リサイクル法	0.55	テレビ
	0.50	冷蔵庫
	0.50	洗濯機
	0.60	エアコン
自動車リサイクル法	0.80	自動車

単位: [-]

建設廃材にのみ数値目標を設定している。そのため他の廃棄物についても数値目標を設定することで、再生利用量の増加を促進させるという施策などを実施することが、目標達成のための一つの手段であると考えられる。

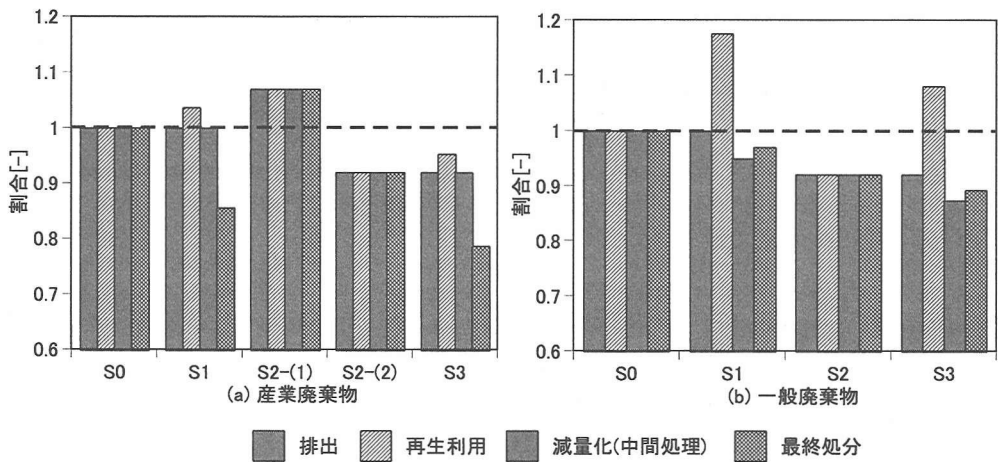
廃棄物の排出抑制については、シナリオ 2(1)の結果は排出割合が現状よりも増加するという設定のためである。再生利用量の増加、最終処分量の減少が促進されたとしても、元々の排出量が増加すればこれらの効果は相殺されてしまうことから、排出抑制のための努力を行うことが重要である。シナリオ 2(2)は一般廃棄物の場合と同じ排出抑制割合を用いているが、排出抑制により減量化及び最終処分量の減少を図ることが可能であることを示している。

シナリオ 3 での結果について、産業廃棄物の場合は約 8%の排出量の減少に伴い再生利用割合は約 5%減少したが、最終処分割合は約 21%とシナリオ 1 の結果よりも高い減少がみられた。一般廃棄物の場合は約 8%の排出量の減少に伴い再生利用割合は約 8%の増加、最終処分割合は約 11%となった。この結果からも、排出抑制による最終処分量減少の効果は高く、再生利用量の増加を図ることで効果を更に高めることが可能であるといえる。しかしながら、シナリオ 3 の結果についても、表-7 の目標値の目標達成には程遠い。

3.3.2. 環境負荷因子排出の結果

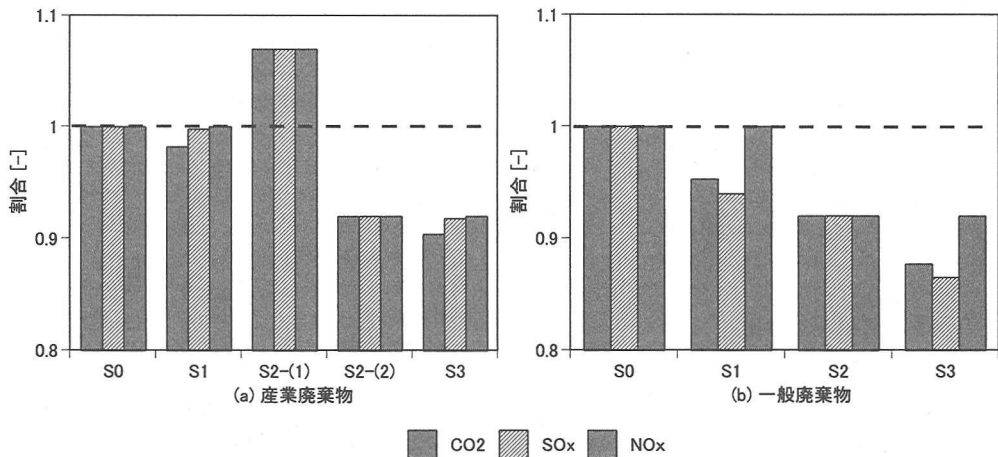
廃棄物処理業における、シナリオ別の環境負荷因子排出量の割合を図-8 に示す。

CO₂ 排出割合について、産業廃棄物の場合は、シナリオ 1 はシナリオ 0 に対して約 2%、シナリオ 2(2)は約 8%の減少がみられる。更にシナリオ 3 では約 10%減少しており、再生利用量増加及び廃棄物の排出抑制による削減効果が高いといえる。一般廃棄物の場合についても同様の傾向を示している。しかしながら産業・一般廃棄物を合わせても CO₂ 排出削減割合



注) それぞれの結果は、シナリオ0の結果を1.0とした場合である。S0: 現状シナリオ, S1: 再生利用量増加シナリオ, S2: 排出抑制シナリオ, S3: 再生利用量増加シナリオ+排出抑制シナリオ。産業廃棄物について、排出抑制シナリオは2種類になっているが、これは排出抑制割合の違いによる。

図-7 シナリオ別の再生利用及び処理の割合



注) それぞれの結果は、シナリオ0の結果を1.0とした場合である。S0: 現状シナリオ, S1: 再生利用量増加シナリオ, S2: 排出抑制シナリオ, S3: 再生利用量増加シナリオ+排出抑制シナリオ。産業廃棄物について、排出抑制シナリオは2種類になっているが、これは排出抑制割合の違いによる。

図-8 シナリオ別の環境負荷因子排出割合

合は約 10%程度であり、削減目標の達成には至っていない。「愛知県地球温暖化対策地域推進計画」では、廃棄物処理部門における CO₂ 排出削減対策を、排出抑制及び再生利用推進などとしていることから、排出抑制及び再生利用推進に関する施策を更に進める必要がある。

SO_x 排出割合については、産業廃棄物はシナリオ 1 の再生利用量増加による削減効果が約 2%であるのに対し、シナリオ 2-(2)の排出抑制によるほうが約 8%と大きい。これは産業

廃棄物については、建設リサイクル法のための再生利用量増加が対象となっており、他の廃棄物については数値目標が定められていないために、その分、削減率が少なくなったものと考えられる。ここでも建設廃材のみではなく他の廃棄物についても数値目標を設定し、再生利用量の増加を促進させるなどの施策を実施することで、SO_x 排出量の削減を図ることが可能であると考えられる。

NO_x 排出割合についても SO_x の場合と同様に、再生利用

量増加による削減効果はほとんど無いといえる。これは再生利用量増加の施策が NOx 排出構造の変化に殆ど影響を及ぼしていないためであると考えられる。

4. 終わりに

本研究では資源循環の実現を見据え、動脈・静脈部門における諸活動に伴う物質の投入・産出構造を把握可能なマテリアルバランス表を作成するとともに、愛知県の廃棄物管理政策に本表を適用し、政策の実行性について評価した。本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 廃棄物産業連関表を地域レベルでの廃棄物処理状況が把握可能な形式に修正し、これを用いて愛知県のマテリアルバランス表を作成した。
- 2) 廃棄物の再生利用量増加及び廃棄物の排出抑制の施策を実施することにより、現状に比べて産業廃棄物については約21%、一般廃棄物については約11%の最終処分割合の減少がみられた。しかし今回行った施策では、愛知県が定める減量化目標値を達成するには不十分である。
- 3) 廃棄物の再生利用量増加、排出抑制の削減効果により、CO₂排出量は現状よりも約10%減少するが、愛知県が定める削減目標には及ばない。

減量化目標を達成するための一つの手段として、廃棄物ごとに数値目標を定めることで再生利用量の増加を促進させる、といった施策の実施が考えられる。また、廃棄物の排出抑制による廃棄物処理量減少の効果は高いことから、廃棄物の再生利用量増加に加え、排出抑制を如何に実施できるかが廃棄物減量化目標の達成の鍵になるといえる。これは環境影響の抑制の観点からもいえることである。

マテリアルバランス表を愛知県の廃棄物処理計画に適用するとともに、各種の施策実施による計画達成度合いについて検討した結果より、本表を廃棄物管理政策の実行性の評価に適用することの有効性が示された。近年戦略的環境アセスメントの制度化が議論されているが、これは社会資本整備などにおいて政策、計画、プログラムの策定段階から環境影響の配慮を行うものであり、従来の環境アセスメントの欠点を補完するものである。これは廃棄物管理政策についても実施されることが義務付けられており、今後はこれまでに以上に環境影響を配慮した廃棄物管理の諸政策の策定及び実施が求められていくことが想定される。そのため廃棄物管理に関する諸政策を評価する際のツールとして、マテリアルバランス表が有効な役割を果たすといえよう。

しかしながら廃棄物産業連関表では、静脈部門でリサイクルされた資源が動脈部門へ投入されることによる影響を評価することは困難である。また先にも述べているが、廃棄物産業連関表はその構造より、動脈・静脈部門間での資源、財、廃棄物といった物質の投入・産出構造を把握しきれないことから、マテリアルバランス表として用いるには限界があることは否めない。これを解決するためには両部門における物質の投入・産出構造をもれなく記入可能な、独自のマテリアルバラン

ス表の作成が今後の課題であり、今回得られた結果はマテリアルバランス表の作成に向けて、多大なる示唆を与えるといえる。

謝辞： 研究を進めるにあたり、早稲田大学政治経済学部中村研究室で公開されている「廃棄物産業連関表 1995 年度版(版番号 2.2)」(http://www.f.waseda.jp/nakashin/wio_j.htm)を利用させて頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 加河茂美, 稲村肇: 環境対策 SNA 型産業連関表による環境保全政策の評価, 土木計画学研究・論文集, No.14, pp.433-442, 1997.
- 2) 中村愼一郎: 廃棄物処理と再資源化の産業連関分析, 廃棄物学会誌, Vol.11, No.2, pp.84-93, 2000.
- 3) 森口祐一: マテリアルフロー分析からみた人間活動と環境負荷, 環境システム研究, Vol.25, pp.557-568, 1997.
- 4) 近藤康之, 高瀬浩二, 中村愼一郎: 廃棄物産業連関表(1995 年全国表)の推計, 早稲田大学現代政治経済研究所, No.103, 2001.
- 5) 中村愼一郎: 廃棄物処理と再資源化の産業連関分析, 廃棄物学会誌, Vol.11, No.2, pp.84-93, 2000.
- 6) 愛知県: 1995 年あいちの産業連関表, 2000.
- 7) 愛知県環境部: 平成 12 年度愛知県廃棄物処理計画策定調査報告書(平成 11 年度実績), 2000.
- 8) 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, 1998.
- 9) 愛知県: 平成 11 年度一般廃棄物実態調査, 2000.
- 10) 総務庁: 1995 年産業連関表・計数編(1), 1999.
- 11) 南齋規介, 森口祐一, 東野達: 産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID)-LCA のインベントリデータとして, CGER-REPORT, 2002.
- 12) 田中信寿, 松藤敏彦: 廃棄物処理システム評価計算プログラム, <http://wastegr2-er.eng.hokudai.ac.jp/home/>.
- 13) 大竹一友, 藤原俊隆: 燃焼工学, コロナ社, 1985.
- 14) 鍋島淑朗: RDF(ごみ燃料)の技術評価, 廃棄物学会誌, Vol.7, No.4, pp.294-304, 1996.
- 15) 志垣政信編著: 絵とき廃棄物の焼却技術, オーム社, 2000.
- 16) 山崎正和: 新版熱計算入門Ⅲ, 省エネルギーセンター, 1989.
- 17) 愛知県: あいちエコプラン 2010-愛知県地球温暖化対策地域推進計画-, 2000.
- 18) 愛知県: 平成 12 年度大気環境に係る固定発生源状況調査(結果概要), 2000.
- 19) 愛知県: 愛知県廃棄物処理計画(平成 14 年度～平成 18 年度), 2002.
- 20) 株式会社日報: 循環型社会基本法データベース, http://www.nippo.co.jp/re_law/.

Design of the Material Balances Table for Evaluation of Regional Waste Management

Tomohiro TABATA, Kaoru IWAMOTO, Takaaki OKUDA,
Masafumi MORISUGI and Hidehumi IMURA

A waste management in recycle-based society is required to promote an appropriate waste treatment such as waste prevention and 3R(Reduce, Reuse and Recycle) and to restrain an environmental impact by the waste treatment. In this study, the material balance table was designed that input and output balances of materials such as resource, goods and waste between arterial flow and venous flow is possible to treat systematically. This table was utilized to evaluate the feasibility of waste management policy in Aichi prefecture and was investigated the utility value as the tool to evaluate the policy.