

物質循環を考慮した環境経済一般均衡分析

A General Equilibrium Analysis of Interaction Between Material Balance and Economic Activities

宮田 譲**・厩曉晋***

By Yuzuru MIYATA ** and Xiaojin PANG ***

1. はじめに

筆者らは過去に、廃棄物と経済活動との関係を表す廃棄物—経済会計行列を提案し、それに基づく静学的一般均衡分析および動学的一般均衡分析を行ってきた^{1)・2)}。これら一連の研究は、家庭廃棄物有料化やリサイクルの推進が経済にどのような影響を与えるのかを、比較静学及び動学数値シミュレーションによって詳細に調べている。

しかしこれらの研究では、現在の環境問題の中で、最も重要なものと位置付けられる、物質循環について、極めて簡便な方法でしか取り扱っていない。

そこで本研究では、1994年の愛知県経済を対象として、筆者らの既存研究に物質循環構造を付加し、より詳細に経済活動と環境負荷との相互作用を分析することを目的とする。

2. 経済—物質循環会計行列

既存研究では廃棄物—経済会計行列を作成し、それを基準年の均衡データセットとして、CGEモデル分析を行ってきた⁴⁾。

本研究ではそれをさらに拡張し、経済—物質循環会計行列の概念を提唱する。その概要は表1のようにまとめられる。

経済—物質循環会計行列は、廃棄物—経済会計行列の廃棄物発生量を廃棄物種類ごとに細分化する。さらに廃棄物除去量は、産業別生産財に対応する再利用・再生利用量に置き換えられ、再利用・再生利用されない物質は最終的未利用物質として計上されるものである。

物質循環構造を除いた経済部門については、従来の研究と同様であるので、ここでは説明を省略する。

本研究で推計された廃棄物—経済会計行列は表2のようである。この表は主として産業廃棄物デ

ータの分類に合わせる形で、34産業、34産業廃棄物内部の物質循環部門、行政や廃棄物処理業者が行う外部の物質循環部門、政府、家計、資本、労働、資本勘定、県外部門から構成されている。そして最終的に産業と内部循環部門を、それぞれ1部門に統合したものである。

この表から、1994年の愛知県では産業部門で66兆9997億円の産出を行い、それに伴い1719万トンの産業廃棄物を発生させていることが分かる。また家計は26兆6304億円の所得を得て、15兆1623億円の消費を行い、276万トンの一般廃棄物を発生させている。

産業廃棄物は383億700万円の費用で内部処理され、外部循環活動は1610億円の費用で産業廃棄物、一般廃棄物を処理していることが示されている。

3. モデルの構造

本研究のモデルは比較静学モデルであり、その基本構造は既存研究¹⁾とほぼ同じである。従ってここでは、本研究で拡張した部分に重点を置いて説明する。

モデルの階層構造は図1に示される。本研究では産業部門、物質循環活動を大きく変更させているため、その説明をしておこう。

(1) 産業

愛知県の34の産業は中間財、労働、資本を投入し財を生産すると同時に、産業廃棄物を発生させる。また廃棄物を再利用・再生利用するための物質循環費用を負担する。産業の技術は中間投入と外部業者が行う物質循環サービス投入に関してLeontief型技術、資本と労働についてはCobb-Douglas型技術とし、規模に関する収穫一定を仮定する。

(2) 廃棄物発生

廃棄物の発生は、産業活動によるものと、家計消費活動によるものとする。産業活動に伴う廃棄物発生量は産出量に比例し、家計消費活動に伴う廃棄物は合成財消費量に比例するものとする。これらは以下のように表わされる。

$$WG_{kj} = RWG_{kj} X_j \quad (k=1, \dots, 26, j=1, \dots, 34) \quad (1)$$

$$WGH = RWH \cdot CC \quad (2)$$

ここで、 WG_{kj} : 産業*i*の廃棄物*k*発生量、 RWG

*キーワード: 持続的成長管理論, 環境計画, 地球環境問題, システム分析

**正会員, 学博, 豊橋技術科学大学人文・社会学系

***学生員, 工修, 豊橋技術科学大学大学院

博士後期課程環境生命工学専攻

(〒441 豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1, TEL 0532-44-6955, FAX 0532-44-6947)

k_j : 産業 i の廃棄物 k の限界発生量, X_j : 産業 j の産出量, WGH : 家計の廃棄物発生量, RWH : 家計の限界廃棄物発生量, CC : 家計の合成財消費量

(3) 物質循環活動

物質循環活動は産業自身による内部循環活動と、政府、廃棄物処理業者等が行う外部循環活動とに分かれる。循環活動は財生産活動と同様に、中間財、労働、資本を投入することによってなされるものとする。

物質循環技術は、中間投入に関して *Leontief* 型技術、労働、資本の投入に関して *Cobb-Douglas* 型技術で、規模に関して収穫一定を仮定する。物質循環活動の最適化行動は、技術の 1 次同次性か

(4) 産業及び物質循環活動の行動

産業は前述したように、財を生産すると同時に、廃棄物を発生させる。その一部は内部技術により再利用・再生利用され、残りは外部処理される。産業の行動は技術の一次同次性から、与えられた産出量に対し、物質循環費用を含む費用最小化行動として定式化される。

$$\text{Min} \sum_{i=1}^{34} p_i X_{1ij} + (1+tp_{1j})(wL_{1j} + rK_{1j})$$

($x_{1ij}, L_{1j}, K_{1j}, x_{2ij}, L_{2j}, K_{2j}, WT_{2j}$)

表 1 経済—物質循環会計行列の構成

	生産活動		物質循環活動		制度部門		生産要素		資本蓄積	果外部門	合計
	1~34産業	中間投入	1~34産業 内部循環活動	外部 循環活動	政府	家計	資本	労働			
生産活動	1~34産業	中間投入	中間投入	中間投入	政府消費	家計消費	—	—	資本形成	移輸出	財総需要
廃棄物	1~34産業	除去投入	—	—	—	—	—	—	—	—	除去総需要
除去活動	委託・行政	除去投入	—	—	経常移転	—	—	—	—	—	除去総需要
制度部門	政府	純間接税	純間接税	純間接税	—	直接税	—	—	—	経常移転	政府所得
	家計	—	—	—	経常移転	—	資本所得	労働所得	—	経常移転	家計所得
生産要素	資本	営業余剰	営業余剰	営業余剰	—	—	—	—	—	資本所得移転	総資本所得
	労働	雇用者所得	雇用者所得	雇用者所得	—	—	—	—	—	労働所得移転	総労働所得
資本調達	固定資本減耗	固定資本減耗	固定資本減耗	政府貯蓄	家計貯蓄	—	—	—	—	資本移転	総資本調達
果外部門	移輸入	—	—	経常移転	経常移転	資本所得移転	労働所得移転	経済余剰	—	—	果外の受取
合計	財供給	財供給	物質循環 供給	物質循環 供給	所得の処分	所得の処分	所得の処分	所得の処分	総資本蓄積	果外の支払	受取=支払
廃棄物発生量 / 再利用・再生利用量	廃棄物 発生量	再利用 再生利用量	再利用 再生利用量	再利用 再生利用量	—	廃棄物 発生量	—	—	—	—	最終未利用 物質
燃え殻 有機性汚泥 無機性汚泥 一般廃棄物 廃油 廃溶剤 固形炭 炭でい 炭酸 廃アルカリ 廃プラスチック 廃タイヤ シュレッダグダスト 紙くず 木くず 繊維くず 動・植物性残さ ゴムくず 金属くず ガラス・陶磁器くず 紙さい コンタクト片 廃プラスチック その他 ばいじん 家畜の糞尿 その他	産業別 廃棄物 発生量	産業別 廃棄物 発生量 ・ 再生 利用量	産業別 生産財 再生 利用 ・ 再生 利用量	産業別 生産財 再生 利用 ・ 再生 利用量	—	家計 廃棄物 発生量	—	—	—	—	物質 形態別 最終 未利用 物質

表 2 愛知県の廃棄物—経済会計行列 (1994 年)

(単位: 百万円)

	生産活動		廃棄物除去活動		制度		生産要素		資本蓄積	果外	合計
	1~34産業	1~34産業	委託・行政	委託・行政	政府	家計	資本	労働			
生産活動	1~34産業	35,877,673	14,327	29,550	1,962,981	15,162,290	0	0	7,337,735	25,483,975	85,868,531
廃棄物	1~34産業	38,307	0	0	0	0	0	0	0	0	38,307
除去活動	委託・行政	96,280	0	0	57,085	7,643	0	0	0	0	161,008
制度	政府	2,294,188	0	3,152	6,118,189	0	0	0	1,324,915	9,740,444	
	家計	0	0	2,149,822	0	8,008,547	16,197,355	0	274,696	26,630,420	
生産要素	資本	7,542,630	4,327	13,483	0	0	0	0	448,107	8,008,547	
	労働	16,677,003	13,127	103,499	0	0	0	0	253,257	17,046,886	
資本調達	資本	4,473,611	6,526	11,324	1,753,243	5,342,298	0	0	232,738	11,819,740	
果外	果外	18,868,839	0	0	3,817,313	0	0	849,531	4,482,005	0	28,017,688
合計	合計	85,868,531	38,307	161,008	9,740,444	26,630,420	8,008,547	17,046,886	11,819,740	28,017,688	187,331,571
廃棄物発生量/除去量 (単位: 千トン)		17.194	-10.527	-9.424	0	2.757	0	0	0	0	0

$$+ \sum_{i=1}^{34} p_i \cdot x_{2ij} + (1+tp_{2j})(wL_{2j} + rK_{2j}) \\ + q_{35} WT_{2j} \quad (j=1, \dots, 34) \quad (3)$$

subject to

$$X_j = \text{Min} \left\{ \frac{1}{a_{10j}} f_{1j}(L_{1j}, K_{1j}), \frac{x_{11j}}{a_{11j}}, \dots, \frac{x_{134j}}{a_{134j}} \right\} \quad (4)$$

$$WG_{kj} = RWG_{kj} X_j \quad (i=1, \dots, 26, j=1, \dots, 34) \quad (5)$$

$$WT_j = RWT_j \sum_{k=1}^{26} WG_{kj} \quad (6)$$

$$WT_j = \text{Min} \left\{ \frac{1}{a_{20j}} f_{2j}(L_{2j}, K_{2j}), \frac{x_{21j}}{a_{21j}}, \dots, \frac{x_{234j}}{a_{234j}} \right\} \quad (7)$$

$$WT_{2j} = RWT_{2j} \sum_{k=1}^{26} WG_{kj} \quad (8)$$

$$f_{1j}(L_{1j}, K_{1j}) \equiv A_{1j} L_{1j}^{\alpha_{1j}} K_{1j}^{(1-\alpha_{1j})} \quad (9)$$

$$f_{2j}(L_{2j}, K_{2j}) \equiv A_{2j} L_{2j}^{\alpha_{2j}} K_{2j}^{(1-\alpha_{2j})} \quad (10)$$

ここで、 p_i : 産業*i*の生産物価格、 x_{1ij} : 産業*j*の生産物*i*中間投入量、 tp_{1j} : 産業*i*の純間接税率、 w : 賃金率、 r : 資本収益率、 L_{1j} : 産業*j*の労働投入量、 K_{1j} : 産業*j*の資本投入量、 WT_j : 産業*j*の内部処理量、 q_{35} : 外部処理価格、 WT_{2j} : 産業*j*の外部処理量、 X_j : 産業*j*の産出量、 a_{10j} : 産業*j*の付加価値率、 a_{11j} : 産業*j*の中間投入係数、 RWT_j : 産業*j*の内部処理率、 RWT_{2j} : 産業*j*

の外部処理率、 RWG_{ij} : 産業*j*の廃棄物*j*の限界発生量、 A_{1j} , α_{1j} : 産業*j*の技術パラメータ、 x_{2ij} : 内部処理活動*j*の生産物*i*中間投入量、 tp_{2j} : 内部処理活動*j*の純間接税率、 L_{2j} : 内部処理活動*j*の労働投入量、 K_{2j} : 内部処理活動*j*の資本投入量、 a_{20j} : 内部処理活動*j*の付加価値率、 a_{21j} : 内部処理活動*j*の中間投入係数、 A_{2j} , α_{2j} : 内部処理活動*j*の技術パラメータ

上式 (3) ~ (10) の最適化問題から、生産量 X_j に伴う生産部門、物質循環部門の中間投入、労働、資本の派生需要関数を得る。

$$x_{11j} = a_{11j} X_j \quad (11)$$

$$LD_{1j} = \left[\frac{(1-\alpha_{1j})r}{\alpha_{1j}w} \right]^{\alpha_{1j}} \frac{a_{0j} X_j}{A_{1j}} \quad (12)$$

$$KD_{1j} = \left[\frac{\alpha_{1j}w}{(1-\alpha_{1j})r} \right]^{(1-\alpha_{1j})} \frac{a_{0j} X_j}{A_{1j}} \quad (13)$$

$$x_{2ij} = a_{2ij} WT_j \quad (14)$$

$$LD_{2j} = \left[\frac{(1-\alpha_{2j})r}{\alpha_{2j}w} \right]^{\alpha_{2j}} \frac{a_{20j} WT_j}{A_{2j}} \quad (15)$$

$$KD_{2j} = \left[\frac{\alpha_{2j}w}{(1-\alpha_{2j})r} \right]^{(1-\alpha_{2j})} \frac{a_{20j} WT_j}{A_{2j}} \quad (16)$$

さらに完全競争下における長期均衡の仮定から、以下のゼロ利潤条件を得る。

$$\text{利潤} = p_j \cdot X_j - \sum_{i=1}^{34} p_i a_{1ij} X_j - (1+tp_{1j}) \cdot \{wLD_{1j} + rKD_{1j}\} - \sum_{i=1}^{34} p_i a_{2ij} WT_j - (1+tp_{2j}) \{wLD_{2j} + rKD_{2j}\} - q_{35} WT_{2j} = 0 \quad (17)$$

また廃棄物内部処理の制約条件に関する Lagrange 乗数から、内部処理サービス価格を以下のように求めることができる。

$$q_j = \sum_{i=1}^{34} p_i a_{2ij} + wLD_{2j} + rKD_{2j} \quad (j=1, \dots, 34) \quad (18)$$

(5) 外部処理活動

外部処理については、産業、家計の双方に対して処理を行っているのが現状であることから、家計廃棄物については 100% を外部処理し、産業については内部処理できないものについて、外部処理するものとした。

この部門については企業の行動を取るものとして、処理すべき産業廃棄物、家計廃棄物が与えられたもとで、費用最小化行動を取るものとする。

$$\text{Min} \sum_{i=1}^{34} p_i x_{2i35} + (1+tp_{235})(wL_{235} + rK_{235}) \quad (19)$$

subject to

$$WT_{35} = \sum_{j=1}^{34} RWT_{2j} \sum_{k=1}^{26} WG_{kj} + WGH \quad (20)$$

$$WT_{35} = \text{Min} \left\{ \frac{1}{a_{2035}} f_{235}(L_{235}, K_{235}), \dots \right\}$$

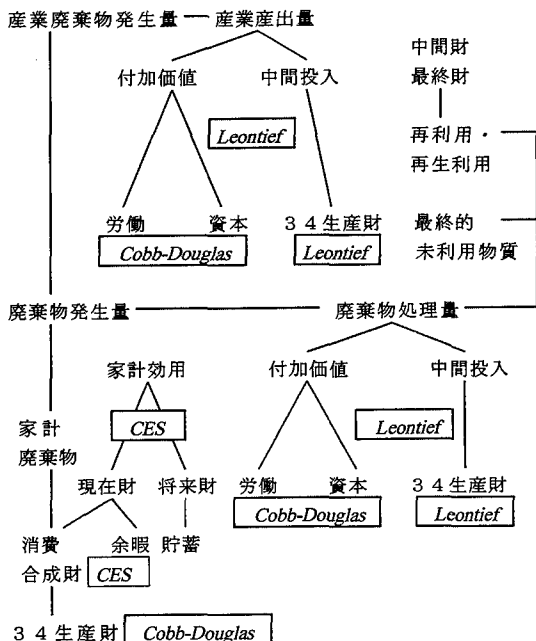


図1 経済 - 物質循環 CGE モデルの階層構造

$$\left\{ \frac{X_{2135}}{a_{2135}}, \dots, \frac{X_{23435}}{a_{23435}} \right\} \quad (21)$$

$$f_{235} (L_{235}, K_{235}) = A_{235} L_{235}^{\alpha_{235}} K_{235}^{(1-\alpha_{235})} \quad (22)$$

ここで、 X_{2135} :産業jから外部処理部門への中
間投入量、 α_{235} :外部処理部門の純間接税率、 L_{235} :外部処理部門の労働投入量、 K_{235} :外部処
理部門の資本投入量、 WT_{35} :外部処理量、 RWT_{2j} :産業jの外部処理率、 a_{2035} :外部処理部門の
付加価値率、 a_{2135} :外部処理部門の中間投入係
数、 A_{235} 、 α_{235} :外部処理部門の技術パラメータ

以上から物質循環に伴う派生的労働需要、資本
需要を求めることができる。

$$LD_{2j} = \left[\frac{(1-\alpha_{2j})r}{\alpha_{2j}w} \right]^{\alpha_{2j}} \frac{a_{20j} WT_j}{A_{2j}} \quad (23)$$

($j=1, \dots, 35$)

$$KD_{2j} = \left[\frac{\alpha_{2j}w}{(1-\alpha_{2j})r} \right]^{(1-\alpha_{2j})} \frac{a_{20j} WT_j}{A_{2j}} \quad (24)$$

($j=1, \dots, 35$)

以上に加え、本モデルでは家計、政府、県外部
門、投資貯蓄バランスなどが内生化されているが、
それらは既存研究とほぼ同じであるため、ここ
では省略する。

4. 市場均衡条件

本研究では物質循環を考慮することから、特
に財市場の均衡条件は、通常の一般均衡モデルと
は大きく変わる。そこで、財市場における物質
循環の取り扱いを述べておこう⁵⁾。

まず産業jでは産出量 X_j に伴い、廃棄物 WG_{kj}
を発生させる。次にそれは処理率 RWT_j で
 $RWT_j WG_{kj}$ だけ内部処理され、生産財 X_{31j} が
再利用・再生利用される。この技術を固定係
数的とすれば、生産→廃棄物発生→再利用・
再生利用のプロセスは、以下の行列形式で記
述される。

$$Z = \Theta_1 RWG \cdot RWT \cdot X \quad (25)$$

ここで、 Z :再利用・再生利用された生産財ベ
クトル、 Θ_1 :廃棄物kを生産財に再利用・再生
利用させる変換行列、 RWG :産業jから発生
する廃棄物kの発生係数行列、 RWT :産業jの
内部処理率が対角要素となる行列、 X :産業
の産出量ベクトル

外部処理についても、同様の定式化が可能
であり、廃棄物の再利用・再生利用を、財の
供給あるいは負の投入と見なすことにより、
本研究の市場均衡条件は最終的に以下のよ
うになる。

財市場

$$X + EM = A_1 X + A_2 DWG \cdot RWT \cdot X + A_3 DWG \cdot RWT_2 X \\ + a_3 RWH \cdot CC + C + CG + H + EX - \Theta_1 WG \cdot RWT \cdot X \\ - \Theta_2 RWG \cdot RWT_2 X - \Theta_3 RWH \cdot CC \quad (26)$$

廃棄物内部処理

$$WT_j = \sum_{k=1}^{26} RWG_{kj} RWT_j X_j \quad (j=1, 2, \dots, 34) \quad (27)$$

廃棄物外部処理

$$WT_{35} = \sum_{k=1}^{26} \sum_{j=1}^{34} RWG_{kj} RWT_{2j} X_j + RWH \cdot CC \quad (28)$$

労働市場

$$LS(p(w,r), w) = \sum_{j=1}^{34} LD_{1j}(w,r) + \sum_{j=1}^{35} LD_{2j}(w,r) \quad (29)$$

資本市場

$$KS = \sum_{j=1}^{34} KD_{1j}(w,r) + \sum_{j=1}^{35} KD_{2j}(w,r) \quad (30)$$

ここで、 X :産出量ベクトル、 EM :移輸入ベ
クトル、 A_1 :産業部門投入係数行列、 A_2 :内
部処理部門投入係数行列、 DWG :各産業の
総廃棄物発生係数が対角要素となる行列、
 RWT :産業の内部処理率が対角要素となる
行列、 A_3 :外部処理部門中間投入ベクトル
を列とした行列、 RWT_2 :産業の外部処理
率が対角要素となる行列、 a_3 :外部処理
部門中間投入ベクトル、 RWH :家計廃棄物
限界発生量、 CC :家計合成財消費量、 C :
家計消費ベクトル、 CG :政府消費ベクトル、
 I :投資ベクトル、 EX :移輸出ベクトル、
 Θ_1 :内部処理による廃棄物/生産財変換行
列、 Θ_2 :外部処理による廃棄物/生産財変
換行列、 Θ_3 :家計廃棄物/生産財変換ベ
クトル、 LS :労働供給、 LD_{1j} :産業jの
労働需要、 LD_{2j} :内部処理、外部処理部
門の労働需要、 KS :資本供給、 KD_{1j} :
産業jの資本需要、 KD_{2j} :内部処理、外
部処理部門の資本需要

以上のモデルを用いて、物質循環の経済
的影響をシミュレーション分析する。なお
本研究は特定領域研究(A)(1)(課題番号
09247104)、基盤研究(C)(2)(課題番号
09680547)、基盤研究(A)(1)(課題番号
09303001)の研究成果に基づいている。

参考文献

- 1) 宮田 謙:廃棄物対策の経済的影響分析 -CGE
モデルアプローチ-, 土木計画学研究・論文
集 No.15, 1998
- 2) Miyata, Y.: An Intertemporal General Equilibrium
Analysis of the Waste-Economic System, Infrastructure
Planning Review, No.14, pp. 421-432, 1997
- 3) Miyata, Y.: A General Equilibrium Analysis of the
Waste-Economic System -A CGE Modeling Approach-,
Infrastructure Planning Review, No.12, pp. 259-270,
1995
- 4) 宮田 謙:廃棄物—経済会計行列とその応用
に関する研究, 平成7年度科学研究費補助金(一般
研究C)研究成果報告書, 1996
- 5) 庭曉 晋:資源循環型生産システムの多目的最適
化, 豊橋技術科学大学修士論文, 1998