

地域ゼロエミッションの可能性とその評価

The Zero-Emission Oriented Regional Economic System*

宮田 譲**・龐 曉晋***

By Yuzuru MIYATA ** and Xiaojin PANG***

1. はじめに

廃棄物は現代社会に深刻な問題を投げかけている。この問題に対処するために、現在、様々な局面でゼロエミッションという用語が用いられている。ゼロエミッションとは、その名が示すとおり、究極的には未利用物質を出さないという社会経済活動を表す。この概念は国連大学により提唱され、その研究が官民を揚げて精力的になされている。

しかし、その研究は緒に着いたばかりであり、現在、様々な生産プロセスにおいて、どのような物質が投入され、またどのような物質が発生するのかを、詳細に検討している段階である²⁾。

こうした物質レベルでの研究の一方で、ゼロエミッション化がどのような社会経済システムの変革を迫るのかは、全くの未知数であり、今後の環境経済学の中心的課題となるものである。

本研究はこのような背景から、筆者らの既存研究³⁾を発展させ、愛知県におけるゼロエミッション化の可能性とその評価を試みるものである。具体的には、物質循環活動の技術進歩による再(生)利用率の向上と最終的未利用物質の減少、最終的未利用物質をゼロとした場合の、物質循環活動の規模や産業構造変化、環境税(補助金)などの経済的手法によるゼロエミッション化の促進などを検討する。

2. 経済—物質循環会計行列

既存研究で廃棄物—経済会計行列を拡張した経済—物質循環会計行列を提唱した。ここでは説明の都合上、その構造を表1に再掲しておく。

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(生)利用量に置き換えられ、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。

本研究で用いる経済—物質循環会計行列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産業内部物質循環活動、行政や廃棄物処理業者が行う外部物質循環活動、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。

3. モデルの構造

本研究のモデルは既存研究³⁾を踏襲する。ここではゼロエミッションに関連する部分に重点を置き、モデルの簡単な説明を行う。モデルの階層構造は図1に示されるが、ゼロエミッションとの関連が強いのは産業部門と物質循環活動であり、また価格形成も大きく変わるため、それらの概要をまとめておこう。

(1) 産業

愛知県の34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(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から購入する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。

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

$$WGH_l = RWH_l \cdot CC \quad (l=1, \dots, 9) \quad (2)$$

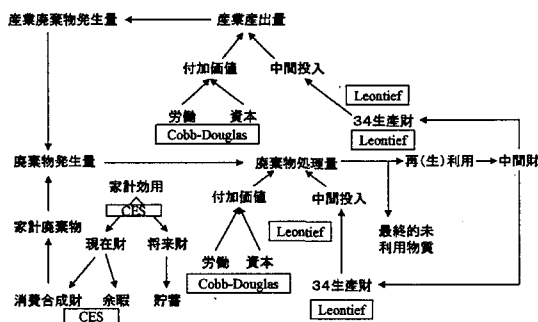


図1 経済—物質循環 CGE モデルの階層構造

* 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

*** 学生会員 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

(〒441-8085 豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1,

Tel. 0532-44-6955 Fax. 0532-44-6947)

ここで、 WG_{kj} ：産業 j の廃棄物 k 発生量、 RWG_{kj} ：産業 j の廃棄物 k の限界発生量、 X_j ：産業 j の産出量、 WGH_j ：家計の廃棄物 l 発生量、 RWT_l ：家計の廃棄物 l の限界発生量、 CC ：家計の消費合成財消費量

(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。

そして物質循環活動により供給される再(生)利用財はバージン財と同質とし、中間財にのみ用いられ、最終財には用いられないとする。さらに再(生)利用財は中間財の中に均等に含まれると仮定する。

(4) 産業および内部物質循環活動の行動

上記の仮定に基づき、まず最初に再(生)利用財の説明を行っておこう。仮定により、例えば再(生)利用 i 財 x_{Ri} が産業中間投入 x_{lij} に含まれる量 x_{Rlij} は以下のように表せる。

$$x_{Rlij} = \frac{x_{lij}}{\sum_{j=1}^{34} x_{lij} + \sum_{j=1}^{35} x_{2lj}} x_{Ri} \quad (3)$$

ここで、 x_{lij} ：産業 j の財 i の中間投入量、 x_{2ij} ：循環活動 j の財 i の中間投入量

この x_{Rlij} の使用に伴う費用 $p_i x_{Rlij}$ は、各産業 j が内部・外部循環活動に支払う費用とするため、 $p_i x_{Rlij}$ を中間投入費用として計上することは2重計算となる。これよりバージン財の中間投入量を x_{vij} などの記号で表す時、産業と内部循環活動の行動は、以下のよう

$$\begin{aligned} \text{Min } & \sum_{i=1}^{34} p_i x_{vij} + (1+tp_{1j})(w \cdot L_{1j} + r \cdot K_{1j}) \\ & + \sum_{i=1}^{34} p_i x_{vij} + (1+tp_{2j})(w \cdot L_{2j} + r \cdot K_{2j}) \\ & + q_{35} WT_{2j} \quad (j=1, \dots, 34) \end{aligned} \quad (4)$$

with respect to $x_{vij}, L_{1j}, K_{1j}, x_{2ij}, L_{2j}, K_{2j}, WT_{2j}$
subject to

$$X_j = \text{Min} \left\{ \frac{1}{a_{10j}} f_{1j}(L_{1j}, K_{1j}), \frac{x_{v11j} + x_{R11j}}{a_{11j}}, \dots, \frac{x_{v134j} + x_{R134j}}{a_{134j}} \right\} \quad (5)$$

$$WG_{kj} = RWG_{kj} X_j \quad (k=1, \dots, 26, j=1, \dots, 34) \quad (6)$$

$$WT_j = RWT_j \sum_{k=1}^{26} WG_{kj} \quad (7)$$

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	県外部門	合計
	1~34産業	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
物質	内部循環活動	循環投入	—	—	—	—	—	—	—	—	循環総需要
循環活動	外部循環活動	循環投入	—	—	—	—	—	—	—	—	循環総需要
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	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	固定資本減耗	政府貯蓄	政府貯蓄	—	—	—	資本移転	総資本調達
県外部門	移輸入	—	—	—	経常移転	経常移転	資本所得移転	労働所得移転	経常余剰	—	県外の受取
合計	財総供給	物質循環総供給	物質循環総供給	所得の過分	所得の過分	所得の過分	所得の過分	所得の過分	総資本蓄積	県外の支払	受取=支払
廃棄物発生量/再(生)利用量	廃棄物発生量	再(生)利用量	再(生)利用量	—	—	—	—	—	—	—	最終未利用物質
燃え殻	産業別廃棄物発生量	34産業別生産財再(生)利用量	34産業別生産財再(生)利用量	—	家計廃棄物発生量	混合ごみ	—	—	—	—	物質形態別最終未利用物質量
有機性汚泥						可燃ごみ					
無機性汚泥						不燃ごみ					
一般廃棄物						資源ごみ					
廃溶剤						粗大ごみ					
固形油						直接搬入ごみ					
油でい						自家処理量					
炭酸						団体集団回収					
廃アルカリ						その他					
廃プラスチック											
廃タイヤ											
シュレッダーダスト											
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											
鉱さい											
コンクリート片											
廃アスファルト											
その他											
ばいじん											
家畜の糞尿											
その他産業廃棄物											

$$WT_j = \text{Min}\left\{\frac{1}{a_{20j}} f_{2j}(L_{2j}, K_{2j}), \frac{x_{V21j} + x_{R21j}}{a_{21j}}, \dots, \frac{x_{V234j} + x_{R234j}}{a_{234j}}\right\} \quad (8)$$

$$WT_{2j} = RWT_{2j} \sum_{k=1}^{26} WG_{kj} \quad (9)$$

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

$$f_{2j}(L_{2j}, K_{2j}) = A_{2j} L_{2j}^{\alpha_{2j}} K_{2j}^{(1-\alpha_{2j})} \quad (11)$$

ここで、 p_i : 産業 i の生産物価格、 x_{Vij} : 産業 j のバージン財 i の中間投入量、 x_{Rij} : 産業 j の再(生)利用財 i の中間投入量、 tp_j : 産業 j の純間接税率、 w : 賃金率、 r : 資本収益率、 L_j : 産業 j の労働投入量、 K_j : 産業 j の資本投入量、 WT_j : 産業 j の廃棄物内部処理量、 q_{35} : 外部循環サービス価格、 WT_{2j} : 産業 j の廃棄物外部処理量、 a_{10j} : 産業 j の付加価値率、 a_{1j} : 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、 A_{1j}, α_{1j} : 産業 j の技術パラメータ、 x_{V2j} : 内部循環活動 j のバージン財 i の中間投入量、 x_{R2j} : 内部循環活動 j の再(生)利用財 i の中間投入量、 tp_{2j} : 内部循環活動 j の純間接税率、 L_{2j} : 内部循環活動 j の労働投入量、 K_{2j} : 内部循環活動 j の資本投入量、 a_{20j} : 内部循環活動 j の付加価値率、 a_{2j} : 内部循環活動 j の中間投入係数、 A_{2j}, α_{2j} : 内部循環活動 j の技術パラメータ

上式(4)~(11)の最適化問題から、生産量 X_j に伴う産業 j と内部循環活動 j の中間投入 x_{1ij} , x_{2ij} , 労働 L_j , 資本 K_j , K_{2j} の派生需要関数を得る。

なお外部循環活動の定式化も同様になされるが、既存研究を参考として、紙面の都合上ここでは省略する。

(5) 財価格

産業および物質循環活動の費用構成から、賃金率、資本収益率が与えられる時、以下の財価格方程式が導かれる。

$$P = [I - B_1'(Q) - DWT \cdot DWG \cdot B_2'(Q) - DWT_2 \cdot DWG \cdot B_3'(Q)]^{-1} \cdot [(1+tp_{1j})(w \cdot ld_{1j} + r \cdot kd_{1j}) + (1+tp_{2j})(w \cdot ld_{2j} + r \cdot kd_{2j}) + (1+tp_{235})(w \cdot ld_{235} + r \cdot kd_{235})] \quad (12)$$

ここで、 P : 財価格ベクトル、 $B_1'(Q)$: 再(生)利用財を控除した投入係数転置行列 ($\equiv a_{1ij} - x_{R1ij}/X_i$)、 Q : 財価格、循環活動サービス価格、賃金率、資本収益率からなる一般化価格ベクトル、 DWT : RWT_j を対角

要素とする対角行列、 DWG : $\sum_{i=1}^{26} RWG_{ij}$ を対角要素と

する対角行列、 $B_2'(Q)$: 再(生)利用財を控除した内部循環活動投入係数転置行列 ($\equiv a_{2ji} - x_{R2ji}/WT_i$)、 DWT_2 : RWT_{2j} を対角要素とする対角行列、 $B_3'(Q)$: 再(生)利用財を控除した外部循環活動投入係数列ベクトルを行に並べた行列の転置行列 ($\equiv a_{2j35} - x_{R2j35}/WT_{35}$)、 $[\cdot]$: カッコ内を要素とした列ベクトル、 $ld_{1j} \equiv LD_{1j}/X_j$, $kd_{1j} \equiv KD_{1j}/X_j$, $ld_{2j} \equiv LD_{2j}/WT_j$, $kd_{2j} \equiv KD_{2j}/WT_j$, $ld_{235} \equiv LD_{235}/WT_{235}$, $kd_{235} \equiv KD_{235}/WT_{235}$

さらに物質循環サービス価格は、財価格を用いて、以下のように求まる。

$$q_j = \sum_{i=1}^{34} p_i b_{2ij}(Q) + (1+tp_{2j})(w \cdot ld_{2j} + r \cdot kd_{2j}) \quad (j=1, \dots, 35) \quad (13)$$

ここで、 $b_{2ij}(Q)$: 再(生)利用財を控除した物質循環活動投入係数

4. 市場均衡条件

本研究では物質循環を考慮していることから、財市場の均衡条件も、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。

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、再(生)利用財 x_{Rij} が供給される。この技術を固定係数的とすれば、生産→廃棄物発生→再(生)利用のプロセスは、以下の行列形式で記述される。

$$Z_1 = \theta_1 \cdot RWG \cdot DWT \cdot X \quad (14)$$

ここで、 Z_1 : 内部循環活動による再(生)利用財ベクトル、 θ_1 : 内部循環活動による廃棄物/生産財変換行列、 RWG : 廃棄物発生係数 RWG_{kj} を要素とする行列、 X : 産業の産出ベクトル

同様に外部循環による再(生)利用財の供給、家計廃棄物からの再(生)利用財供給は以下のように表現できる。

$$Z_2 = \theta_2 \cdot RWG \cdot DWT_2 \cdot X \quad (15)$$

$$Z_3 = \theta_3 \cdot RWH \cdot CC \quad (16)$$

ここで、 Z_2 : 外部循環活動による産業廃棄物からの再(生)利用財ベクトル、 θ_2 : 外部循環活動による廃棄物/生産財変換行列、 Z_3 : 外部循環活動による家計廃棄物からの再(生)利用財ベクトル、 θ_3 : 家計廃棄物/生産財変換行列、 RWH : 家計廃棄物発生係数 RWH_i を要素とする列ベクトル

以上の再(生)利用財の供給プロセスに基づき、廃棄物の再(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

に以下となる。

財市場

$$X + EM = A_1 X + A_2 \cdot DWG \cdot DWT \cdot X \\ + A_3 \cdot DWG \cdot DWT_2 \cdot X + a_3 \sum_{i=1}^9 RWH_i \cdot DWH \cdot CC \\ + C + CG + I + EX - \Theta_1 \cdot RWG \cdot DWT \cdot X \\ - \Theta_2 \cdot RWG \cdot DWT_2 \cdot X - \Theta_3 \cdot RWH \cdot CC \quad (17)$$

廃棄物内部循環

$$WT_j = \sum_{k=1}^{26} RWG_{kj} \cdot RWT_i \cdot X_j \quad (j=1,2,\dots,34) \quad (18)$$

廃棄物外部循環

$$WT_{35} = \sum_{k=1}^{26} \sum_{j=1}^{34} RWG_{kj} \cdot RWT_{2j} \cdot X_j + \sum_{i=1}^9 RWH_i \cdot CC \quad (19)$$

労働市場

$$LS = \sum_{j=1}^{34} LD_{1j} + \sum_{j=1}^{35} LD_{2j} \quad (20)$$

資本市場

$$KS = \sum_{j=1}^{34} KD_{1j} + \sum_{j=1}^{35} KD_{2j} \quad (21)$$

ここで、 EM ：移輸入ベクトル、 A_1 ：産業部門投入係数行列、 A_2 ：内部循環活動投入係数行列、 A_3 ：外部循環活動中間投入列ベクトルを行に並べた行列、 a_3 ：外部循環活動中間投入ベクトル、 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

以上の市場均衡条件を満たす財価格、賃金率、資本収益率を、再(生)利用財の条件(3)、財価格方程式(12)、物質循環サービス価格方程式(13)を用いながら収束計算によって求める。

本モデルでは産業および物質循環活動の技術を一次同次としているため、産業産出量は需要に見合う形で決定される。そのため、ワルワス法則は労働市場、資本市場の超過需要価値額の和がゼロとなる形に帰着される。

これより労働市場もしくは資本市場をクリアすれば、全ての市場がクリアされることになる。従って、本研究では労働をニュメレール($w=1$)として、*Newton-Raphson*法を用いた収束計算により、資本市場の均衡資本収益率を求めることにより、全ての変数の均衡解が求まる。

5. シミュレーション分析の考え方

以上のモデルを用いて、愛知県における地域ゼロエミッション化のシミュレーション分析を行うが、分析に先立ち、現在のゼロエミッション化研究の動向を簡単にまとめておこう。ゼロエミッション化研

究は大きく3つの方向でなされている。

(1) プロセスゼロエミッション

これは個々の生産プロセスにおける現状の物質フロー解析とそれに基づくゼロエミッション化を目的としている。このため資源・エネルギーの消費と、環境への負荷が大きいと考えられる生産プロセスを取り上げ、廃物の受け手となっている再生資源利用プロセスをも含めた、物質・エネルギー・廃物の流れを解析・データベース化し、ゼロエミッション化の方向性を考察するものである。

(2) ゼロエミッションネットワーク

これは業種を越えた生産プロセスのネットワーク形成によるゼロエミッション化を目指すものである。このため生産プロセス間、異業種間、産業間の物質とエネルギーのフロー解析のもとで、有効な資源のカスケード利用、個別プロセス・産業のリンク、生産活動立地の再検討を行う。そして各種プロセスのネットワーク形成による、ゼロエミッション化社会実現への提言を検討するものである。

(3) 地域ゼロエミッション

これはモデル地域を設定し、その地域での物質循環を記述するシミュレーションモデルを作成し、ゼロエミッション化へのシナリオのもとで、その評価と社会経済変化の予測を行うものである。

これらの研究体系から分かるように、本研究の立場は地域ゼロエミッションの一環に位置づけられるものである。本研究では、ゼロエミッション化の新たな技術代替案の検討、物質変換技術を通じた新たな産業間リンクの検討、環境税(補助金)などの経済的手法の導入により愛知県経済がどのように変化するのかを、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) Capra, F. and Pauli, G. (赤池 学訳)：ゼロエミッション、ダイヤモンド社、1996
- 2) 鈴木基之編：ゼロエミッションをめざした物質循環プロセスの構築、文部省科学研究費特定領域研究平成10年度報告書、1999
- 3) 宮田 謙・厩 暁晋：物質循環を考慮した環境経済一般均衡分析、土木計画学研究・論文集 No.16、1999