

廃棄物－経済システムの動学一般均衡分析

An Intertemporal General Equilibrium Analysis of the Waste-Economic System

宮田 譲**

By Yuzuru MIYATA**

1. はじめに

筆者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、それに基づく一般均衡分析を行ってきた¹⁾。この研究では家庭廃棄物有料化や廃棄物処理技術の進歩が経済にどのような影響を与えるのかを、比較静学数値シミュレーションによって詳細に調べている。

しかし現在の環境経済系研究の主要課題は、環境水準を維持、もしくは改善しながら、どのような経済成長が可能なのかを検討することにあると言える。最近、国連によって標準化された環境・経済統合勘定においても、環境水準を維持した上での純福祉指標「エコGDP」の概念を打ち出している²⁾。こうした流れは、環境経済系の研究を必然的に動学化の方向に向かわせるものとなる。

本研究もその流れを受けたもので、筆者の廃棄物－経済CGEモデル¹⁾を動学化し^{3), 4)}、北海道を対象として、その有効性を検討することを目的とする。

2. モデルの構造

最初に本研究のモデルの概要を簡単にまとめておこう。まず家計は効用の現在価値総和を最大化するような異時点間の消費と余暇（労働供給）を選択し、消費されない所得は貯蓄され、新たな資本ストックが形成される。産業及び廃棄物除去活動は、静学的な利潤最適化行動のもとで、労働と資本ストックを投入し、財を生産し、また発生した廃棄物を除去する。そのもとで財市場、労働市場、資本市場をクリアーする財価格、賃金率、資本収益率を求めるというものである。以下では、モデルの前提条件を述べた後、モデルの構造について順次説明を行う。

(1) モデルの前提条件

①経済主体は北海道の家計、産業（3産業分類）、政府、廃棄物自己除去部門（3産業分類）、廃棄

物委託・行政除去部門、道外部門とする。

②市場は生産物市場（1次産業財、2次産業財、3次産業財の3市場）、廃棄物自己除去市場（1次産業、2次産業、3次産業の3市場）、廃棄物委託・行政除去市場（1市場）、労働市場、資本市場の9市場とする。

③生産物市場、労働市場、資本市場は完全競争的であり、各時点で均衡状態にあるものとする。

(2) 経済主体の行動

(a) 産業

北海道の3つの産業は中間財、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、また廃棄物を除去するための廃棄物除去サービスを投入する。産業の技術は中間投入、廃棄物除去投入に関して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。そして、産業の行動は与えられた技術、価格のもとで費用を最小化するものと定式化する。

$$\text{Min } \sum_{i=1}^3 p_i \cdot x_{ij} + (1+tp_{ij})(w \cdot L_{ij} + r \cdot K_{ij})$$

$$(x_{1j}, x_{2j}, x_{3j}, L_{ij}, K_{ij}, WT_{ij}, WT_{2j})$$

$$+q_j WT_{ij} + q_4 WT_{2j} \quad (j=1, 2, 3)$$

subject to

$$X_j = \text{Min} \left\{ \frac{1}{a_{0j}} f_{ij}(L_{ij}, K_{ij}), \frac{x_{1j}}{a_{1j}}, \dots, \frac{x_{3j}}{a_{3j}}, \frac{WT_{ij}}{RWT_{ij} \cdot RWG_j}, \frac{WT_{2j}}{RWT_{2j} \cdot RWG_j} \right\} \quad (2)$$

$$f_{ij}(L_{ij}, K_{ij}) = A_{ij} L_{ij}^{\alpha_{ij}} K_{ij}^{(1-\alpha_{ij})} \quad (3)$$

ここで、 p_i :産業*i*の生産物価格、 x_{ij} :産業*i*から産業*j*への中間投入量、 tp_{ij} :産業*i*の純間接税率（間接税－補助金）、 w :賃金率、 r :資本収益率、 L_{ij} :産業*j*の労働投入量、 K_{ij} :産業*j*の資本投入量、 q_j :産業*j*の廃棄物自己除去価格、 WT_{ij} :産業*j*の廃棄物自己除去量、 q_4 :廃棄物委託・行政除去価格、 WT_{2j} :産業*j*の廃棄物委託・行政除去量、 X_j :産業*j*の産出量、 a_{0j} :産業*j*の付加価値率、 a_{1j} :産業*j*の中間投入係数、 RWT_{ij} :産業*j*の自己除去率、 RWT_{2j} :産業*j*の委託・行政除去率、 RWG_j :産業*j*の限界廃棄物発生係数、 A_{ij} 、 α_{ij} :産業*j*の技術パラメータ

式(2)は産業の生産において労働、資本、中間財を投入すると同時に、自己責任において自ら発

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

生させた産業廃棄物を処理しなければ操業できないことを表している。産業の中間投入、廃棄物除去量については Leontief 型技術であることを考慮すれば、上式 (1), (2), (3) の最適化問題から、生産量 X_i に伴う労働及び資本派生需要関数を得る。

$$LD_{1j} = \left[\frac{(1 - \alpha_{1j})r}{\alpha_{1j} \cdot w} \right]^{\alpha_{1j}} \frac{a_{0j} X_j}{A_{1j}} \quad (4)$$

$$KD_{1j} = \left[\frac{\alpha_{1j} \cdot w}{(1 - \alpha_{1j})r} \right]^{(1 - \alpha_{1j})} \frac{a_{0j} X_j}{A_{1j}} \quad (5)$$

さらに完全競争下における長期均衡の仮定から、以下の zero profit condition を得る。

$$\text{利潤} = p_i \cdot X_i - \sum_{j=1}^3 p_i \cdot a_{ij} X_j - (1 + tp_{1j}) \cdot \{w \cdot LD_{1j} + r \cdot KD_{1j}\} - q_j \cdot WT_j - q_4 \cdot WT_{2j} = 0 \quad (6)$$

(b) 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。

$$WG_i = RWG_i \cdot X_i \quad (i=1, 2, 3) \quad (7)$$

$$WGH = RWGH \cdot C \quad (8)$$

ここで、 WG_i : 産業 i の廃棄物発生量、 RWG_i : 産業 i の限界廃棄物発生量、 WGH : 家計の廃棄物発生量、 $RWGH$: 家計の限界廃棄物発生量

また、産業 j の廃棄物自己除去量 WT_j 、廃棄物委託・行政除去量 WT_{2j} は以下のように定式化される。

$$WT_j = RWT_j \cdot WG_j \quad (9)$$

$$WT_{2j} = RWT_{2j} \cdot WG_j \quad (10)$$

(c) 廃棄物除去活動

廃棄物の除去は産業自身による自己除去活動と、政府、廃棄物除去業者等が行う委託・行政除去活動とに分かれる。除去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。除去技術は、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。廃棄物除去活動の最適化行動は、除去技術の 1 次同次性から経済活動によって発生した廃棄物量を与件とし、一定の除去率のもとで除去費用を最小化する行動となる。まず自己除去活動については以下のである。

$$\text{Min} \sum_{j=1}^3 p_i \cdot x_{ij} + (1 + tp_{2j})(w \cdot L_{2j} + r \cdot K_{2j}) \quad (x_{11}, x_{2j}, x_{3j}, L_{2j}, K_{2j}) \quad (j=1, 2, 3) \quad (11)$$

subject to

$$WT_j = RWT_j \cdot WG_j \quad (12)$$

$$WT_j = \text{Min} \left\{ \frac{1}{a_{0j}^2} f_{2j}(L_{2j}, K_{2j}), \frac{x_{1j}}{a_{1j}^2}, \dots, \frac{x_{3j}}{a_{3j}^2} \right\} \quad (13)$$

$$f_{2j}(L_{2j}, K_{2j}) \equiv A_{2j} L_{2j}^{\alpha_{2j}} K_{2j}^{(1 - \alpha_{2j})} \quad (14)$$

ここで、 x_{ij} : 産業 i から自己除去部門 j への中間投入量、 tp_{2j} : 自己除去部門 j の純間接税率、 L_{2j} : 自己除去部門 j の労働投入量、 K_{2j} : 自己除去部門 j の資本投入量、 WT_j : 産業 j の廃棄物自己除去量、 RWT_j : 産業 j の自己除去率、 a_{0j}^2 : 自己除去部門 j の付加価値率、 a_{ij}^2 : 自己除去部門 j の中間投入係数、 A_{2j} 、 α_{2j} : 産業 j 自己除去部門の技術パラメータ

次に委託・行政除去については、産業、家計の双方に対して除去を行っているのが現状であり、家計廃棄物については 100% を委託・行政除去し、産業については自己除去できないものについて、委託・行政除去するものとした。

$$\text{Min} \sum_{i=1}^3 p_i \cdot x_{i4} + (1 + tp_{24})(w \cdot L_{24} + r \cdot K_{24}) \quad (x_{14}, x_{24}, x_{34}, L_{24}, K_{24}) \quad (15)$$

subject to

$$WT_4 = \sum_{j=1}^3 RWT_{2j} \cdot WG_j + WGH \quad (16)$$

$$WT_4 = \text{Min} \left\{ \frac{1}{a_{04}^2} f_{24}(L_{24}, K_{24}), \frac{x_{14}}{a_{14}^2}, \dots, \frac{x_{34}}{a_{34}^2} \right\} \quad (17)$$

$$f_{24}(L_{24}, K_{24}) \equiv A_{24} L_{24}^{\alpha_{24}} K_{24}^{(1 - \alpha_{24})} \quad (18)$$

ここで、 x_{j4} : 産業 j から委託・行政除去部門への中間投入量、 tp_{24} : 委託・行政除去部門の純間接税率、 L_{24} : 委託・行政除去部門の労働投入量、 K_{24} : 委託・行政除去部門の資本投入量、 WT_4 : 委託・行政除去量、 RWT_{2j} : 産業 j の委託・行政除去率、 a_{04}^2 : 委託・行政除去部門の付加価値率、 a_{i4}^2 : 委託・行政除去の中間投入係数、 A_{24} 、 α_{24} : 委託・行政除去の技術パラメータ

以上から廃棄物除去に伴う派生的労働需要、資本需要を求めることができる。

$$LD_{2j} = \left[\frac{(1 - \alpha_{2j})r}{\alpha_{2j} \cdot w} \right]^{\alpha_{2j}} \frac{a_{0j}^2 WT_j}{A_{2j}} \quad (j=1, \dots, 4) \quad (19)$$

$$KD_{2j} = \left[\frac{\alpha_{2j} \cdot w}{(1 - \alpha_{2j})r} \right]^{(1 - \alpha_{2j})} \frac{a_{0j}^2 WT_j}{A_{2j}} \quad (j=1, \dots, 4) \quad (20)$$

(d) 家計

家計は北海道における集計化された家計を考える。家計は合成財消費と余暇需要に関して CES 型効用関数を持つとし、異時点間予算制約のもとで割引された効用総和を最大化するような合成財消費と余暇需要（労働供給）を選択する。その後、合成財消費は財別消費（1 次、2 次、3 次の生産

財)に分解される。

家計の予算制約については、家計の全保有時間を労働供給した場合に得られる賃金所得、家計が保有する資本から得られる固定資本減耗控除後の資本所得、政府からの経常移転、道外からの雇用者所得、財産所得、その他経常移転を総所得とし、賃金所得、資本所得の一部については道外への移転所得となる。移転所得控除後の総所得をタックススペースとして、税率一定の直接税を控除した所得を消費と余暇に配分するものとする。そして所得と支出の差額は貯蓄され、新たな資本ストックを形成する。

以上から、家計行動については、以下のように表現される。

$$\text{Max}_{C, F} \int_0^{\infty} [(1-\beta)^{1/\nu} C^{(\nu-1)/\nu} + \beta^{1/\nu} F^{(\nu-1)/\nu}]^{\nu/2(\nu-1)} e^{-\xi t} dt \quad (21)$$

subject to

$$\begin{aligned} KS &= (1-\text{ty})FI/p_1 - (p/p_1)C - (1-\text{ty})(1-l_0)(w/p_1)F \\ FI &\equiv (1-l_0)wE + (1-k_0)(r-p_1\delta)KS + LI \\ &\quad + KI + \text{TrGH} + \text{TrOH} \end{aligned} \quad (22)$$

ここで、 β : 分配パラメータ、 ν : 代替弾力性、 C : 合成財消費量、 F : 余暇需要量、 ξ : 主観的割引率、 KS : 家計の保有する資本ストック、 ty : 直接税率、 FI : 完全所得、 p_1 : 資本財価格、 p : 合成財価格、 w : 賃金率、 l_0 : 道外への雇用者所得率、 E : 家計の労働時間初期賦存量、 k_0 : 道外への財産所得率、 δ : 資本減耗率、 LI : 道外からの雇用者所得(外生)、 KI : 道外からの財産所得(外生)、 TrGH : 政府から家計への経常移転、 TrOH : 道外から家計への経常移転

以上において、資本蓄積に必要となる粗投資 I_p は $I_p = KS + \delta KS$ となる。さらに I_p は財別投資について Leontief 関数としよう。

$$I_p = \min\{I_{p1}/b_1, I_{p2}/b_2, I_{p3}/b_3\} \quad (24)$$

ここで、 $b_i > 0$, $\sum_{i=1}^3 b_i = 1$

粗投資は投資費用 $\sum_{i=1}^3 p_i I_{pi}$ が最小となるように I_{pi} を選択するものとすれば、 $I_{pi} = b_i I_p$ となる。また資本財価格を p_1 とすれば、 $p_1 I_p = \sum_{i=1}^3 p_i \cdot b_i I_p$ より、 $p_1 = \sum_{i=1}^3 b_i p_i$ が成立する。

さて式 (21) の効用総和最大化問題を解くために、以下の current value Hamiltonian を導入する。

$$\begin{aligned} H(t) &\equiv [(1-\beta)^{1/\nu} C^{(\nu-1)/\nu} + \beta^{1/\nu} F^{(\nu-1)/\nu}]^{\nu/2(\nu-1)} \\ &\quad + \lambda [(1-\text{ty})(1-l_0)(w/p_1)(E-F) \\ &\quad + (1-\text{ty})\{(1-k_0)(r/p_1 - \delta)KS + LI + KI \\ &\quad + \text{TrGH} + \text{TrOH}\} - pC] \end{aligned} \quad (25)$$

ここで、 λ : KS の随伴変数

各種変数が (21) を最大化するための必要十分条件は以下のようである。

式 (22) 及び $\dot{\lambda} = -\partial H / \partial KS + \xi \lambda$, C 及び F が各時点で Hamiltonian を最大化すること、及び横断性条件。

これより以下の条件を得る。

$$\dot{\lambda} = \lambda [\xi - (1-\text{ty})(1-k_0)(r/p_1 - \delta)] \quad (26)$$

$$\begin{aligned} C &= (1-\beta)[(1-\beta) \\ &\quad + \beta \left(\frac{p}{(1-\text{ty})(1-l_0)w} \right)^{\nu-1}]^{(2-\nu)/(\nu-1)} (p_1/\lambda p)^2 \end{aligned} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} F &= \beta [(1-\beta) \left(\frac{p}{(1-\text{ty})(1-l_0)w} \right)^{1-\nu} \\ &\quad + \beta]^{(2-\nu)/(\nu-1)} [p_1/\lambda (1-\text{ty})(1-l_0)w]^2 \end{aligned} \quad (28)$$

$$LS = E - F \quad (29)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \lambda \cdot KS e^{-\xi t} = 0 \quad (30)$$

ここで、 LS : 家計の労働供給

さらに合成財消費は財別消費に関する Cobb-Douglas 型効用関数の最大化を通じて、財別消費に分解される。

$$\text{Max}_{C_j} \prod_{j=1}^3 C_j^{\alpha_j} \quad \left(\sum_{j=1}^3 \alpha_j = 1 \right) \quad (31)$$

subject to

$$\sum_{j=1}^3 p_j \cdot C_j = pC \quad (32)$$

ここで、 C_j : 家計の j 財消費量、 p_j : j 財の価格
これより、財別消費需要関数を得る。

$$C_j = \frac{\alpha_j}{p_j} p \cdot C \quad (j=1, 2, 3) \quad (33)$$

また合成財価格と財価格との関係は以下のようになる。

$$p = \prod_{j=1}^3 \left(\frac{p_j}{\alpha_j} \right)^{\alpha_j} \quad (34)$$

(e) 政府

政府は北海道からの直接税及び純間接税の税収と、道外からの経常移転を歳入とし、政府消費、家計への経常移転、廃棄物委託・行政除去への支出、道外への経常移転を歳出とし、歳入と歳出の差額は貯蓄されるものとする。政府名目消費総額、政府から家計への経常移転、政府から道外への経常移転は歳入総額に比例し、政府消費支出額財別構成比は固定的とする。これらは以下の予算制約条件として表現される。

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^3 p_i CG_i + \text{TrGH} + \text{WTC} + \text{TrGO} + \text{SG} &= \text{ty} \cdot Y + \\ \sum_{i=1}^3 \text{tp}_{i1} (w \cdot LD_{i1} + r \cdot KD_{i1}) + \sum_{i=1}^4 \text{tp}_{i2} (w \cdot LD_{i2} & \end{aligned}$$

$$+r \cdot KD_{2i}) + TrOG \quad (35)$$

ここで、CG_i: 政府消費j財の需要、TrGH: 政府から家計への経常移転、WTC: 廃棄物の委託・行政除去費用、TrGO: 政府から道外への経常移転、SG: 政府貯蓄、Y: 家計所得、TrOG: 道外から政府への経常移転

(f) 道外部門

道外部門は北海道の移輸入、政府から道外への経常移転、道外への雇用者所得、道外への財産所得を所得とし、北海道の移輸出、家計への経常移転、政府への経常移転、北海道への雇用者所得、北海道への財産所得を支出し、所得と支出との差額は貯蓄されるものとする。この予算制約条件は以下のように記述される。

$$\sum_{i=1}^3 p_i EX_i + TrOH + TrOG + KI + LI + SO \\ = \sum_{i=1}^3 p_i EM_i + TrGO + LIO + KIO \quad (36)$$

ここで、EX_i: 北海道のi財の移輸出量、EM_i: 北海道のi財の移輸入量、SO: 道外部門の貯蓄、LIO: 道外への雇用者所得の移転 (=1・w・LS)、KIO: 道外への財産所得の移転 (=k_o(r-p_iδ)KS)

(g) 投資貯蓄バランス

本モデルでは資本ストックの蓄積は家計効用の現在価値総和を最大化する形で内生化されている。一方、現実の経済においては、設備投資以外に公的投資や住宅投資などもあり、それらを考慮する必要がある。本研究では設備投資以外の投資をその他投資として、政府及び道外部門の貯蓄をその原資とする。従って以下の投資貯蓄バランスが成立する。

$$\sum_{i=1}^3 p_i I_i = SG + SO \quad (37)$$

ここで、I_i: その他投資による産業iへの財需要

3. 均衡解の導出

以上のモデルにおいて、均衡解の考え方を簡単に述べておこう。まず家計が保有する資本ストック初期値KS(0)が与えられている時、式(22)の資本蓄積過程により各時点の資本ストックが決定される。また家計の全労働保有量E(t)を与件とする時、式(27)と(28)により各時点の労働供給と消費量が決定される。そして各時点において以下の均衡条件を考えることができる。

財市場

$$X_1 + EM_1 = \sum_{j=1}^3 a_{1j}^1 X_j + \sum_{j=1}^4 a_{1j}^2 WT_j + C_1 \\ + CG_1 + Ip_1 + I_1 + EX_1 \quad (38)$$

$$X_2 + EM_2 = \sum_{j=1}^3 a_{2j}^1 X_j + \sum_{j=1}^4 a_{2j}^2 WT_j + C_2 \\ + CG_2 + Ip_2 + I_2 + EX_2 \quad (39)$$

$$X_3 + EM_3 = \sum_{j=1}^3 a_{3j}^1 X_j + \sum_{j=1}^4 a_{3j}^2 WT_j + C_3 \\ + CG_3 + Ip_3 + I_3 + EX_3 \quad (40)$$

労働市場

$$LS = \sum_{i=1}^3 LD_{1i} + \sum_{i=1}^4 LD_{2i} \quad (41)$$

資本レンタル市場

$$KS = \sum_{i=1}^3 KD_{1i} + \sum_{i=1}^4 KD_{2i} \quad (42)$$

廃棄物発生/除去

$$WT_i = RWT_i \cdot RWG_i \cdot X_i \quad (i=1, 2, 3) \quad (43)$$

$$WT_4 = \sum_{i=1}^3 RWT_{2i} \cdot RWG_i \cdot X_i + RWGH \cdot C \quad (44)$$

以上の均衡条件を満たす毎期の資本ストック、経済フロー変数、廃棄物発生量/除去量を収束計算によって求めることにより、廃棄物が経済成長に与える影響を分析することが可能となる。

参考文献

- 1) Miyata, Y.: A General Equilibrium Analysis of the Waste-Economic System -A CGE Modeling Approach-, Infrastructure Planning Review, No. 12, pp. 259-270, 1995
- 2) United Nations: Integrated Environmental and Economic Accounting, 1993
- 3) Dixon, P., Parmenter, B., Powell, A. and Wilcoxon, P.: Notes and Problems in Applied General Equilibrium Economics, North-Holland, 1992
- 4) Abel, A. and Blanchard, O.: An Intertemporal Model of Saving and Investment, Econometrica, Vol. 51, pp. 675-692, 1983