

一般廃棄物の排出に伴う経済損失の計測

武藤慎一¹・高木朗義²・渡辺慎一³

¹正会員 博(工) 岐阜大学助手 工学部土木工学科 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1)

²正会員 博(工) 岐阜大学講師 工学部土木工学科 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1)

³正会員 東海旅客鉄道株式会社 (〒110-0005 東京都千代田区丸ノ内 1-11-5)

環境問題への対応として現在求められていることは、将来生じるであろう環境被害を抑制するための現時点でとるべき対策について明らかにすることである。そこで、本研究では、環境問題の中の廃棄物問題に焦点を絞り、まず各経済主体の活動と廃棄物の排出およびその処理との関係を静学的一般均衡理論にて記述し、廃棄物の排出が引き起こす経済損失の計測を行った。そして、一般均衡モデルの動学化を図り、廃棄物排出による被害まで考慮した効用最大化問題として動学最適化問題を定式化し、経済活動から享受する効用とその活動から排出される廃棄物から被る被害との両方を併せた総効用を最大化するための、各時点での財消費および廃棄物処理への支出の各水準とともに経済損失の時間推移について明らかにした。

Key Words: *Municipal wastes, Dynamic general equilibrium model, Economic loss*

1. 背景と目的

環境破壊が深刻化している現在、いかに経済的繁栄を犠牲にすることなく環境を保全していくかという問題に高い関心が集まっている。これに対しては、経済学の分野で発展してきた最適経済成長理論を適用し、自然環境の変化と経済成長との関係について分析を行っている研究が見られる[Johansson¹⁾, Xepapadeas²⁾]。経済学において開発された元々の最適経済成長理論では、持続的な経済発展のために物的資本ストックの蓄積をどう行っていけば良いのかという点について精緻な分析がなされてきた^{3),4)}。この理論に、自然環境をストックとして組み入れ、将来時点での自然ストックの減耗を現時点での経済活動との関係から分析し、自然保全の方策を検討したものがJohanssonあるいはXepapadeasである。しかし、そこでは問題を分析するための理論フレームが提示され定性的な分析がなされるにとどまっており、それを現実の環境問題の分析へ実証的に適用していくことが課題とされていた。

本研究では、環境問題の中でも廃棄物問題を取り上げ分析を試みる。廃棄物は、我々の財消費に伴って必ず排出されるものであり、この廃棄物の排出により、処分に伴う環境被害とともに処分場の確保が重大な問題となることが将来にわたり懸念されている。すなわち、我々が現在食料や衣類などを消費し豊かな生活を送ることが、ごみの排出を介し何年か経てその処分に関わる様々な問題を、我々自身ある

いは我々の子孫に課す可能性がある。本研究では、Xepapadeasによって提示された最適成長理論を基礎に、経済活動と廃棄物排出との関係について、特に時間の流れを考慮するために、動学的応用一般均衡モデルを用いて表現する。そして、それにより長期的な視点から廃棄物問題を検討するためのフレームを構築し、最終的には廃棄物の排出に伴う被害を経済的に評価することを目的とする。

2. 廃棄物問題の構造

国土の狭い日本では、廃棄物処理は深刻な問題となってくる。しかし、廃棄物自身は、我々が普通に経済活動を行った場合には必ず排出されるものであり、より豊かな生活を送ろうと経済活動の枠を広げると、それに伴って廃棄物の排出も増大し、それが結果として重大な環境被害を発生させることになる。廃棄物排出の増加が自然環境を悪化させるという問題があるし、埋立地の増加により利用可能な土地面積が減少するという処分地の問題も指摘されている。特にそれらは、廃棄物の排出と同時に生じるものではなく、期間を経て顕在化するものであるという点に問題の複雑さがある。本稿では、廃棄物排出に伴う環境被害を、土地資源を中心とした自然ストックの減耗として表現し、最適経済成長理論の枠組みを利用して、経済活動と自然ストックの変化とを長期的な視点から記述することにより、環境被害の経済的評価を試みる。まず、3章では廃棄物排出とそ

の処理とを記述した一般均衡モデルを静学の枠組みで構築し、4章にて廃棄物排出に伴う経済損失が自然ストックの減少、具体的には埋立地面積の増加に伴う利用可能面積の減少による余剰損失として計測できることを示す。

続いて、静学の枠組みで構築された一般均衡モデルの動学化を図る。これにより、廃棄物排出に伴う環境被害を自然ストックの減耗を通して表現することの意義も明らかにされる。通常、最適経済成長論においては、消費者は現時点での消費と、将来消費のための資本ストック蓄積への投資との選択に直面しているとされる。ここでは、この選択に廃棄物処理のための投資が加わる。現時点で、消費をあきらめる必要があるものの、廃棄物処理企業へ投資することにより、将来での自然ストックとしての土地資産の減少が防げ、環境被害を抑止できる可能性があるからである。この場合に、消費者としてはどのレベルまで廃棄物処理に投資するのかという問題が出てくるが、これを本研究では動学最適化問題として定式化を図っている(5章)。さらに、これを解くことにより、廃棄物の排出により被る被害まで考慮した上での効用を最大化するための財消費および廃棄物処理への支出水準が各時点ごとに明らかにできる。一方で、廃棄物被害について家計が全く考慮しないとした場合も計算を行ない、先の動学的最適化問題を解いた結果と比較することにより、廃棄物排出に伴う経済損失を計測することが可能となる(6章)。

3. 静学的一般均衡モデルの構築

(1) モデルの仮定

ここで示される静学モデルは以下の仮定に基づく。

- 1) 社会経済は、家計、合成財企業、廃棄物処理企業、不在地主からなるものとする(図-1)。廃棄物は、家計から排出される一般廃棄物のみを対象とする。産業廃棄物は、処理されなかった部分が単に埋め立てに回るといった簡単な構造になっていないと考えられ、ここでは後に示す分析の焦点を絞るため一般廃棄物のみを対象とした。
- 2) 一般廃棄物の排出は、家計の合成財消費量に依存するものとする。
- 3) 廃棄物処理企業は、一般廃棄物を処理するというサービスを提供する。この廃棄物処理企業の生産量に依存して一般廃棄物の処理量が決定されるものとする。これは、焼却だけでなくリサイクルも含めた処理を想定しており、特にその技術的な問題については考えず、処理のために必要な費用を家

計がどこまで支払うのかという点に焦点を絞って考える。

- 4) 廃棄物処理企業によって処理されなかった廃棄物は、最終処分場に運搬されて埋め立てられる。
- 5) 不在地主は、埋め立てに使用された土地を除いた土地を利用可能面積として有し、それらは全て家計および企業に貸し出されるものとする。

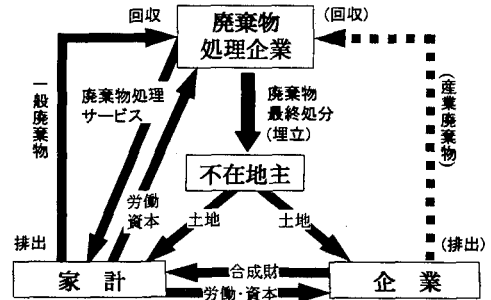


図-1 モデルの経済主体関係図

(2) 家計の行動モデル

家計は、労働、資本からなる生産要素を提供して所得を得て、その所得制約に時間制約を加えた制約条件の下で効用を最大化するように、合成財消費、余暇消費、土地消費および廃棄物処理サービス量を決定する。なお、廃棄物処理企業が処理を行う際やそれが処理されずに最終処分にまわされた際、廃棄物が発生させる不快感のような心理的被害についても理論モデルでは考慮することとし、環境質 Q をもって表現する。また、処理企業によって処理できなかった廃棄物が埋め立てに回されたことによる被害については、改めて説明を行うこととする。

$$V = \max_{x_M, x_W, x_L, s} U(x_M, x_W, x_L, s, Q) \quad (1a)$$

$$\text{s.t. } p_M x_M + p_W x_W + p_L x_L = wL + rK + \pi_M + \pi_W + \pi_L \quad (1b)$$

$$\Omega = L + s \quad (1c)$$

ただし、 U ：直接効用関数、 x_M ：合成財消費、 x_W ：廃棄物処理サービス消費、 x_L ：土地消費、 s ：余暇消費、 Q ：廃棄物排出に依存する環境質、 L ：労働供給量、 K ：資本供給量、 Ω ：総利用可能時間、 π_M ：合成財企業からの利潤配当、 π_W ：廃棄物処理企業からの利潤配当、 π_L ：不在地主からの利潤配当、 p_M ：合成財価格、 p_W ：廃棄物処理サービスの価格、 p_L ：地代、 w ：賃金率、 r ：利子率、 V ：間接効用関数。

式(1)を解くことにより、各消費量とともに、間接効用関数が以下のように求められる。

$$V = V(p_M, p_W, p_L, w, r, Q) \quad (2)$$

包絡線の定理を適用することにより、間接効用関数の全微分形が以下のように求められる。

$$dV = -\lambda x_M dp_M - \lambda x_W dp_W - \lambda x_L dp_L + \lambda L dw + \lambda K dr + \lambda d\pi_M + \lambda d\pi_W + \lambda d\pi_L + \frac{\partial V}{\partial Q} dQ \quad (3)$$

ただし、 λ ：式(1)の最適化問題を解く際に用いたラグランジュ乗数。

(3) 企業の行動モデル

企業は、労働、資本、土地を投入し、生産技術制約の下で利潤を最大化するように合成財の生産を行う。

$$\Pi_M = \max_{y_M, k_M, x_L^M} p_M y_M - (w l_M + r k_M + p_L x_L^M) \quad (4a)$$

$$\text{s.t. } y_M = f^M(l_M, k_M, x_L^M) \quad (4b)$$

ただし、 Π_M ：企業利潤、 y_M ：合成財生産量、 l_M ：労働投入量、 k_M ：資本投入量、 x_L^M ：土地投入量、 $f^M(\cdot)$ ：生産関数。

式(4)を解くことにより、生産要素投入量が求められる、さらに利潤 Π_M も求められる。なお、この利潤は家計の配当所得として分配される。

また、包絡線の定理を適用することにより利潤 Π_M の全微分形が導出され、それはそのまま家計の配当所得 π_M の全微分形と一致する。

$$d\Pi_M (= d\pi_M) = y_M dp_M - l_M dw - k_M dr - x_L^M dp_L \quad (5)$$

(4) 廃棄物処理企業の行動モデル

廃棄物処理企業は、労働、資本を投入し、生産技術制約の下で利潤を最大化するように廃棄物処理サービスの生産を行うものとする。なお、最終処分のための土地は別途考えることとし、廃棄物処理企業の建物等に必要となる土地については考慮しない。

ここで考えている廃棄物処理サービスについて補足しておく。現時点でも、家計はゴミ袋を購入する際に料金を支払い、それを介してゴミ処理を行ってもらうという仕組みが存在している。よって、ここではそのような形で、家計が廃棄物処理サービスというものを消費していると解釈し、それをモデル化したものとなっている。

以上の結果、廃棄物処理サービス企業の生産行動モデルは以下のように表される。

$$\Pi_W = \max_{y_W, k_W} p_W y_W - (w l_W + r k_W) \quad (6a)$$

$$\text{s.t. } y_W = f^W(l_W, k_W) \quad (6b)$$

ただし、 Π_W ：廃棄物処理企業の利潤、 y_W ：廃棄物処理サービス生産量、 l_W ：労働投入量、 k_W ：資本投入量、 $f^W(\cdot)$ ：生産関数。

式(6)を解くことにより、生産要素需要関数とともに利潤関数 Π_W が求められる。なお、この利潤も家計への配当所得として分配される。さらに、包絡線の定理を適用することにより利潤 Π_W の全微分形が導出される。

$$d\Pi_W (= d\pi_W) = y_W dp_W - l_W dw - k_W dr \quad (7)$$

(5) 廃棄物最終処分の定義と不在地主の行動

a) 廃棄物最終処分の定義

まず、家計から排出される一般廃棄物量は、家計の合成財消費 x_M に依存して決定されるものとする。また、排出された廃棄物については、ある部分までは廃棄物処理企業によって処理されるものとする。その結果として、最終処分場へ運ばれる廃棄物最終処分量 Z は以下のように表される。

$$Z = \alpha x_M - \beta y_W \quad (8)$$

ただし、 Z ：廃棄物最終処分量、 α ：廃棄物排出係数、 β ：廃棄物処理係数。

式(8)の廃棄物最終処分量 Z は、最終処分場へ運搬されて埋め立てられるとし、よって、埋め立て地面積は最終処分量 Z に依存する形で $x_L^W(Z)$ と表される。

$$x_L^W = \gamma Z \quad (9)$$

ただし、 γ ：土地面積換算係数。

b) 不在地主の行動モデル

不在地主は、基本的には所有している土地を全て家計と企業に提供するものとする。しかし、廃棄物の排出に伴う埋め立て地の増加により、供給できる土地面積は減少すると考えられる。以上のことから、不在地主の地代収入は以下のように表される。

$$\Pi_L = p_L [\bar{x}_L - x_L^W(Z)] \quad (10)$$

ただし、 $\bar{x}_L$ ：総土地面積[固定]。

なお、地代収入についても、家計に配分されるものとする、式(10)を全微分することにより、家計の地代収入配当の変化分が求められる。

$$d\Pi_L (= d\pi_L) = \bar{x}_L dp_L - x_L^W dp_L - p_L dx_L^W \quad (11)$$

(6) 市場均衡条件

本モデルにおける市場均衡条件式は、以下のよう表される。

$$\text{合成財市場： } y_M = x_M \quad (12a)$$

$$\text{廃棄物処理サービス市場： } y_W = x_W \quad (12b)$$

$$\text{労働市場： } L = l_M + l_W \quad (12c)$$

$$\text{資本市場： } K = k_M + k_W \quad (12d)$$

$$\text{土地市場： } \bar{x}_L - x_L^W(Z) = x_L + x_L^M \quad (12e)$$

4. 廃棄物排出に伴う経済損失の計測

廃棄物最終処分量が $Z_A \rightarrow Z_B$ へ増加した場合の経済損失 DC の計測を行う。これは、等価的偏差 EV の概念を用いることにより表すことができる。

$$V(p_M^A, p_W^A, p_L^A, I^A + DC, Q^A) = V^B \quad (13)$$

式(13)を支出関数を用いて書き換える。

$$DC = \oint_{A \rightarrow B} \frac{\partial e}{\partial V} dV \quad (14a)$$

$$= \oint_{A \rightarrow B} \frac{\partial e}{\partial V} \lambda \left[-x_M dp_M - x_W dp_W - x_L dp_L + Ldw + Kdr + d\pi_M + d\pi_W + d\pi_L + \frac{\partial I}{\partial Q} dQ \right] \quad (14b)$$

ただし、 I ：総所得（ $= w\Omega + rK + \pi_M + \pi_W + \pi_L$ ）， λ ：式(1)を解く際に用いられたラグランジュ乗数であり、所得の限界効用（ $\partial V / \partial I$ ）と一致する。

式(14b)に、 $d\pi_M$ （式(5)）、 $d\pi_W$ （式(7)）、 $d\pi_L$ （式(11)）を代入して整理する。

$$DC = \oint_{A \rightarrow B} \frac{\partial e}{\partial V} \lambda \left[(y_M - x_M) dp_M + (y_W - x_W) dp_W + \left\{ (\bar{x}_L - x_L^W(Z)) - x_L - x_L^M \right\} dp_L - p_L dx_L^W(Z) + (L - l_M - l_W) dw + (K - k_M - k_W) dr + \frac{\partial I}{\partial Q} dQ \right] \quad (15a)$$

これに、市場均衡条件式(12)を考慮すると、

$$DC = \oint_{A \rightarrow B} \frac{\partial e}{\partial V} \frac{\partial V}{\partial I} \left[-p_L dx_L^W(Z) + \frac{\partial I}{\partial Q} dQ \right] \quad (15b)$$

のように、経済損失 DC が求められる。

式(15b)第一項より、廃棄物の排出に関わる経済損失は、廃棄物最終処分によって埋め立て地面積が増加したため家計・企業の利用可能面積が減少することにより生じることがわかる。また、式(15b)の第二項は、環境質 Q に対する家計の限界価値が所得換算されて表れたものであり、森杉⁹⁾によって導出されたものと同様の結果となっている。こうして、環境質変化による心理的被害についても、理論モデル上

は把握することが可能となったが、実際に $\partial I / \partial Q$ を計測することには困難があり CVM 等に頼らざるを得ないのが現状といえる。

5. 動学的一般均衡モデルへの拡張

続いて、前章で構築した静学的一般均衡モデルを、動学的一般均衡モデルへ拡張する。環境問題に対し動学的一般均衡モデルを適用しているわが国での研究として、Miyata⁶⁾、井堀⁷⁾が挙げられる。

(1) モデルの仮定

動学モデルでも、基本的な構造は3章の静学モデルと同様である。以下に、特に変更のある部分のみ説明を行う。

- 1) 家計は、無限遠まで続くような代表的家計を考える。これは、家計は一つの連綿と続く家計と考え、ある時点の家計はそれ以降の子孫の効用を整合的に考慮し資産を残すと考えても良い。
- 2) 1)の仮定より、家計は現在から将来までの全ての効用を最大とするよう行動をとるものと想定される。しかし、合成財企業、廃棄物処理企業については各期ごとに利潤を最大とするよう行動をとるとする。
- 3) 土地については、家計が利用可能な土地を持っており、それを市場に供給しているものとする。

(2) 家計の行動モデル

ある時点での効用関数は式(1a)にて定式化したものと同じものを用いるが、その効用を主観的割引率 ρ によって割り引き、それを現時点から無限遠まで積分された通時的効用を家計は最大化するよう行動するものとする。

$$V = \max_{x_M^t, x_W^t, x_L^t, s^t} \int_0^\infty U(x_M^t, x_W^t, x_L^t, s^t, Q^t) \exp(-\rho t) dt \quad (16a)$$

$$\text{s.t. } \dot{K}^t = w^t L^t + r^t K^t + p_L^t \{ \bar{x}_L - x_L^W(x_M, x_W) \} - (p_M^t x_M^t + p_W^t x_W^t + p_L^t x_L^t) - \delta K^t \quad (16b)$$

$$\Omega = L^t + s^t \quad (16c)$$

ただし、 V ：無限期間にわたって割り引かれた効用の総和、 t ：期間、 $U(\cdot)$ ： t 期における効用関数、 ρ ：主観的割引率、 $\dot{K}$ （ $= dK/dt$ ）：資本の蓄積量の時間的変化、 δ ：資本減耗率。

式(16b)は資本蓄積方程式であるが、賃金所得と資本所得、土地資産所得からなる実所得から、各財の消費と資本減耗を差し引いた額が貯蓄にまわされ、次期の資本蓄積を生むことが定式化されている。式

(16c)は時間制約式であるが、式(16b)と(16c)より L' を消去することが可能である。

また、合成財企業と廃棄物処理企業の行動モデルは、静学モデルと全く同様であるためここでは省略する。

市場均衡条件式については、各期ごとに市場が清算されるとし、よって、これも静学モデルと同様になる。

(3) 最大値原理による動学モデルの解法

続いて、式(16)の動学的最適化問題を最大値原理を用いて解く^{8),9)}。そこで、ハミルトニアンを以下のように定義する。

$$H' = \left[U(x'_M, x'_W, x'_L, s', Q') + \lambda' \left\{ w' \Omega + r' K' + p'_L \left\{ \bar{x}_L - x'_L \frac{w'}{x'_M} \right\} - p'_M x'_M - p'_W x'_W - p'_L x'_L - w' s' - \delta K' \right\} \right] \quad (17)$$

ただし、 λ ：資本蓄積方程式(16b,c)に付随する共役変数。

ハミルトニアン最大化の条件は以下になる。

$$\frac{\partial H'}{\partial x'_M} = \frac{\partial U'}{\partial x'_M} - \lambda' \left\{ p'_M + p'_L \frac{\partial x'_L \frac{w'}{x'_M}}{\partial x'_M} \right\} = 0 \quad (18a)$$

$$\frac{\partial H'}{\partial x'_W} = \frac{\partial U'}{\partial x'_W} - \lambda' \left\{ p'_W + p'_L \frac{\partial x'_L \frac{w'}{x'_W}}{\partial x'_W} \right\} = 0 \quad (18b)$$

$$\frac{\partial H'}{\partial x'_L} = \frac{\partial U'}{\partial x'_L} - \lambda' p'_L = 0 \quad (18c)$$

$$\frac{\partial H'}{\partial s'} = \frac{\partial U'}{\partial s'} - \lambda' w' = 0 \quad (18d)$$

$$\begin{aligned} \dot{K}' &= \frac{\partial H'}{\partial \lambda'} \\ &= w' \Omega + r' K' + p'_L \left\{ \bar{x}_L - x'_L \frac{w'}{x'_M} \right\} \\ &\quad - p'_M x'_M - p'_W x'_W - p'_L x'_L - w' s' - \delta K' \end{aligned} \quad (18e)$$

$$\dot{\lambda}' - \rho \lambda' = - \frac{\partial H'}{\partial K'} = - \lambda' [r - \delta] \quad (18f)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \lambda' K' \exp(-\rho t) = 0 \quad (18g)$$

式(18a~d)は、ハミルトニアン最大化の一階条件、式(18e,f)はハミルトニアン・ダイナミクス条件、式(18g)は横断性条件を表している。

まず、ハミルトニアン最大化の一階条件のうち、式(18a,b)の合成財消費と汚染処理サービス消費は、廃棄物排出に伴う経済損失を考慮した形で条件が導出されている。本モデルでは、廃棄物は、合成財の

消費量に応じて排出されるとし、それは処理されなければ最終処分場にて埋め立てにまわされると想定していた。よって、式(18a)は、合成財消費の限界効用が、財価格に合成財消費に対する限界的埋立地増分の資産価値を加えたものに共役変数を乗じたものと等しくなるという条件となっている。これは、合成財の消費を行うことにより廃棄物を排出し、結果として自らの利用可能な土地面積の損失として損害を被ることまで考慮した上で、家計は合成財の消費量を決定することを表している。また、本モデルでは、家計から排出された廃棄物は、廃棄物処理企業が、処理サービスを提供することにより得た費用をもって処理を行うと想定していた。よって、式(18b)は、廃棄物処理サービスの限界効用が、サービス価格に廃棄物処理サービスに対する限界的埋立地減少の資産価値を差し引いたものに共役変数を乗じたものと等しくなるという条件となっている。すなわち、廃棄物排出の経済損失を回避できることまで踏まえて、家計は廃棄物処理サービスの消費量を決定することを表している。以上、式(18a,b)の条件は、廃棄物の最終処分により、自然ストックとしての土地資産が減少することによってもたらされる限界的な被害費用と、合成財、廃棄物処理サービスの限界的効用あるいは限界的効用とがバランスするように合成財消費および廃棄物処理サービス消費が決まり、その結果廃棄物の最終処分量も内生的に決定することがわかる。

式(18c,d)については、土地と余暇に関わる条件であり、これらは限界効用が価格に共役変数を乗じたものと等しくなるという従来と全く同様の結果となっている。

式(18e)は、資本蓄積方程式そのものであり、資本の時間的変化を規定している。

式(18f)は、資本の投資価値の時間的変化を表す。すなわち、資本の投資価値が、ハミルトニアン H' に対する資本ストック K' の限界的な貢献を埋め合わせるよう下落していくことを意味している。この意味としては、まず、投資により資本が蓄積されれば次期の消費が増加するためハミルトン関数は高まるといえる。しかし一方で、資本市場では資本供給量が増加するため資本の価値自身は低下することになり、この資本価値の低下が、先の資本ストック増加によるハミルトンニアンの限界的増分と一致するように変化していくことを、式(18f)は表しているといえる。

式(18g)は横断性条件と呼ばれるものである。これは、無限遠の資本の帰属現在価値がゼロとなることを要請したものである。もし、無限遠においてまだ資本の価値が残っているとしたら、それは、それまでの消費が効率的になされなかったことを示しており、そのような動学的不効率を排除するための条件である。

6. 数値シミュレーション分析

本章では、岐阜県を対象として5章で構築した動学的一般均衡モデルを実証的に解くこととする。ただし、5章のモデルを直接、数值的に解くことは困難である。そこで、本研究では、まず5章の連続形で示された動学的一般均衡モデルを離散形に置き換え、さらに対象期間を1999年から2010年に限定して数値シミュレーションを行う。期間を、2010年までとした理由は、政府のダイオキシン対策閣僚会議が、2010年までに廃棄物の最終処分(埋め立て処分)量を半減させるという目標の設定を行っており¹⁰⁾、これよりまず2010年を目標として廃棄物問題の対策を検討することも必要であると考えたためである。無論、対象期間をさらに伸ばして数値計算を行うことも可能であるが、それは今後の課題とした。

また、対象期間を限定することにより、終端時点の条件を求めることが必要となる。この点については、宮田¹¹⁾により詳細に説明されている解法を参考にして計算を行った。

(1) 関数の特定化とパラメータ設定

数値シミュレーションを行うにあたり、生産関数、効用関数の特定化とそのパラメータを設定する必要がある。まず、関数の特定化に関し、生産関数はCobb-Douglas型にて、効用関数は対数線形型にて特定化を行った(表-1)。家計の効用関数は、ここでは環境質 Q が考慮されていない。これは、既に述べたように Q に関わるパラメータを実証的に求めることは困難であるためであり今後の重要な課題といえる。

パラメータ設定は、基準年にてデータセットを作成し、それを厳密に再現するようパラメータを決定するキャリブレーション手法により設定した。これは、暗に企業の生産技術、家計の選好が永続的に変化しないことを想定したものであるが、ここでは簡便化のためこのような方法を用いている。なお、キャリブレーションの方法については、武藤¹²⁾にて詳

表-1 関数の特定化

関数名	関数形
合成財企業の生産関数(4b)	$y_M^i = \eta_M^i l_M^{\alpha_M^L} k_M^{\alpha_M^K} x_L^{\alpha_M^H} x_S^{\alpha_M^S}$ $[\alpha_M^L + \alpha_M^K + \alpha_M^H + \alpha_M^S = 1]$
廃棄物処理企業の生産関数(6b)	$y_W^i = \eta_W^i l_W^{\alpha_W^L} k_W^{\alpha_W^K}$ $[\alpha_W^L + \alpha_W^K = 1]$
効用関数(15a)	$U^i = \beta_M \ln x_M^i + \beta_W \ln x_W^i$ $+ \beta_L \ln x_L^i + \beta_S \ln s^i$ $[\beta_M + \beta_W + \beta_L + \beta_S = 1]$
廃棄物最終処分量、処分地面積(8)、(9)	$Z = \alpha x_M - \beta y_W, \quad x_L^W = \gamma Z$

ただし、 η_M, η_W : 比率パラメータ、 $\alpha_M^L, \alpha_M^K, \alpha_M^H, \alpha_M^S, \alpha_W^L, \alpha_W^K$ 、 $\beta_M, \beta_W, \beta_L, \beta_S$: 分配パラメータ、 α : 廃棄物排出係数、 β : 廃棄物処理係数、 γ : 土地面積換算係数。

表-2 各経済主体のデータセット

(1) 合成財企業		(3) 家計	
労働投入額	2,152,117	時間所得 (労働供給)	5,397,865
資本投入額	1,657,738	資本所得	2,252,119
土地投入額	316,797	土地資産所得	1,721,362
生産額	4,126,652	総所得	379,928
(単位: 百万円)			7,499,155
(2) 廃棄物処理企業		合成財消費	2,548,177
労働投入額	100,002	廃棄物処理サービス	163,626
資本投入額	63,624	土地消費	63,131
生産額	163,626	余暇消費	3,145,746
(単位: 百万円)		貯蓄=投資	1,569,869
(4) 廃棄物最終処分量		資本減耗	8,607
廃棄物最終処分量	173,221		
(単位: t)			(単位: 百万円)

表-3 設定されたパラメータ

合成財企業	α_M^L	0.522	効用関数	β_M	0.430
	α_M^K	0.402		β_W	0.0276
	α_M^H	0.0768		β_L	0.0107
	η_M	162.99		β_S	0.531
廃棄物処理企業	α_W^L	0.611	廃棄物排出係数	α	1.2×10^{-7}
	α_W^K	0.389	廃棄物処理係数	β	3.4×10^{-5}
	η_W	155.71	土地面積換算係数	γ	1.3×10^{-4}
			資本減耗率	δ	0.005

しくまとめられている。

そこで、基準年を1994年に設定し、対象地域を岐阜県として、岐阜県統計書¹³⁾および県民経済計算年報¹⁴⁾よりデータセットを作成した(表-2)。また、廃棄物関係のデータは社会生活統計指標¹⁵⁾を参考とした。これらのデータセットより設定されたパラメータを表-3に示す。

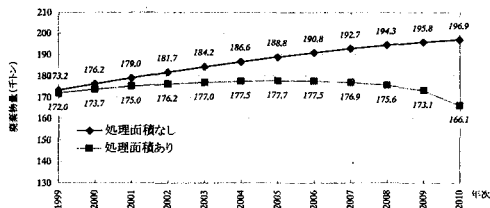


図-2 廃棄物の最終処分量

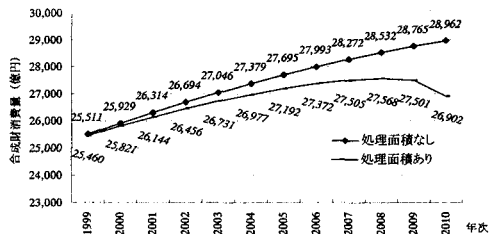


図-5 合成財消費量

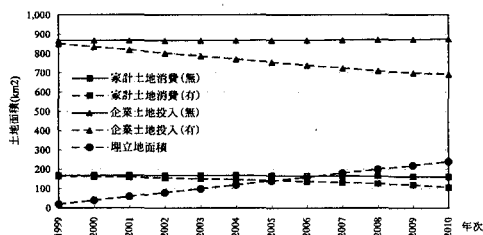


図-3 土地利用面積の変化

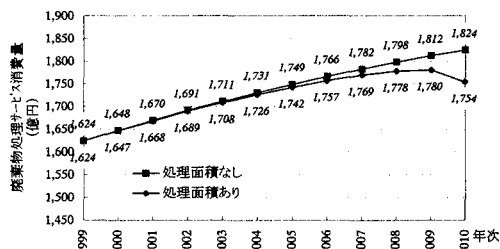


図-6 廃棄物処理サービス消費量

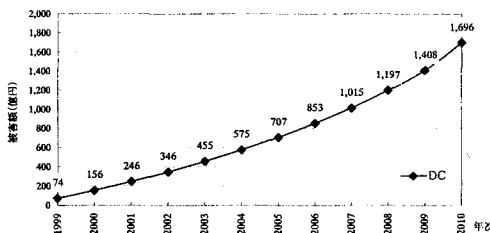


図-4 廃棄物排出による経済損失

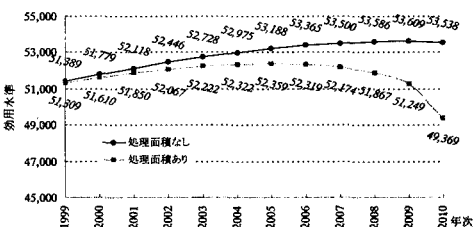


図-7 効用水準

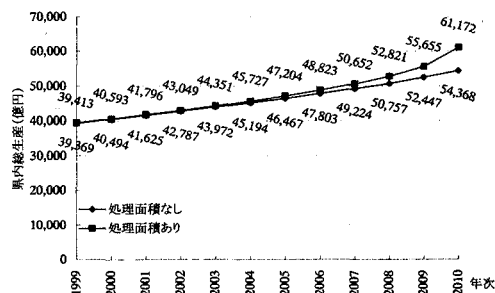


図-8 県内総生産

(2) 数値シミュレーション結果

a) 数値シミュレーションの概要

ここで行った数値シミュレーションでは、次の二通りのケースの計算を行った。

①処理面積ありの場合

これは、家計が廃棄物の最終処分による自然ストックである土地資産の減耗による被害を受けるケースである。すなわち、5章にて構築された動的最適化問題を純粋に数値計算したケースと位置付けられる。このケースでは、家計は廃棄物の最終処分によって将来受けるであろう被害を完全に把握した状態で、どのような経済活動をとるのが最終的に計算されるものといえる。

②処理面積なしの場合

これは、廃棄物の最終処分物の埋め立てが対象地域である岐阜県でなされないとするものであり、そのため埋立地面積は廃棄物の排出に抛らず変化しな

いとされる場合である。このとき、消費者は廃棄物問題による被害を意識することがないため、ただ単に現在消費と将来消費との間のバランスだけを考えて、資本ストックの投資量を決定するという、従来の最適経済成長モデルで想定される消費者と同じ行動をとることになる。これにより、廃棄物問題が存

在しない場合の消費者の行動が明らかとされ、①との比較を行うことができる。

b) 数値シミュレーション結果

数値シミュレーションの結果を、図-2 から 8 にまとめて示した。

まず、図-2 に廃棄物の最終処分量(Z)の変化を示した。処理面積なしのケースでは、廃棄物の排出による被害を全く受けないため、廃棄物の最終処分量が単調に増加している。これに対し、最終処分による埋め立て面積の増加を考慮した処分面積ありのケースでは、最終処分量を減らす努力を家計がしていることがわかる。その処分面積ありとなしのケースでの土地利用の変化を示したものが図-3 であり、その結果として生じる経済損失を求めたものが図-4 である。これによれば、経済損失は時間とともに逓増していることがわかる。これは、本モデルにて自然ストックと捉えた土地資産の価値である地代が時間とともに逓増的に上昇していることによる。つまり、自然ストックの希少性が時間とともに逓増的に高まっていくことを表しており、そのような性質を理解して環境問題においては、早めに対策を考えることが重要であることがわかる。

次に、図-5, 6 に、廃棄物の最終処分量を決定する合成財の消費量と廃棄物処理サービスの消費量の変化を示した。このとき、合成財の生産量は処理面積ありのケースの方が下回っている。これは、将来廃棄物の処理によって発生するであろう被害について完全情報を得ている家計は、合成財消費を抑制することにより過大な被害を防ごうとしていると考えられる。これに基づけば、処理面積ありの場合、廃棄物処理サービスに対する家計の支出は増加すると考えられるが、図-6 の結果は下回るものとなった。ただし、これは家計が意図的に廃棄物処理サービスに対する支出を抑制したものではなく、土地への支出が増加した結果として生じたものである。つまり、廃棄物の処分に伴って利用可能面積が減少して土地の資産価値が高まり、家計の土地に対する支出が大きくなったため、合成財と廃棄物処理サービスを併せた両者への支出そのものが減少したことが原因である。これは、合成財消費における処理面積なしとありの場合の差と、廃棄物処理サービスにおけるそれとを比較すると、廃棄物処理サービスにおけるものの方が差は小さいことから、合成財消費との相対的な関係からいうと廃棄物処理サービスへの支出が

高まっていると判断できることからわかる。

以上の結果を踏まえ、家計の効用水準の変化を示したものが図-7 である。対象期間の後半部では、効用水準が低減しており、直感的な理解とは食い違う部分である。これは、本シミュレーション分析では、1999 年から 2010 年を対象期間とし、終端条件については、計算機により試行錯誤的に解を求めた。そのため、結果としては、家計は前半部に財の消費を多くすることにより効用の増分を稼ぎ、それを持って後半部の廃棄物排出に伴う被害によって受ける効用低下分を賄うように行動をとったという結果が表れたものと考えられる。しかし、終端条件についての精度がチェックできていないため、さらに精緻に計算を進めていくことが課題といえる。

次に、図-8 に県内総生産額の変化を示した。県内総生産については、処理面積ありの場合の方が増加している。これは、廃棄物処理に伴い生じた土地資産価値の上昇が、県内総生産の増加をもたらしたものと考えられる。よって、県内総生産を指標として廃棄物処理を考えると、廃棄物の処理は県内総生産を高める可能性があり、逆に廃棄物を出した方が望ましいとも解釈可能である。これに対し、式(2)あるいは(15)で表される効用水準を用いると、処理面積のありのケースの方が低くなっており、廃棄物処理に伴う被害を家計が受けていることは明らかである。これは、総生産という指標はあくまで経済活動の一側面を表すに過ぎず、正確に環境被害を表せない場合の存在する例といえる。一方、間接効用関数は式(1)あるいは(15)にて示したように、最適行動の下での財の消費量、あるいはいくつかの環境水準をベースとして導き出される指標であるため、環境被害を経済的に評価し得る指標であると考えられる。

7. 結論

本稿では、環境問題の中でも今後特に重要となると考えられる廃棄物問題に対し、その経済損失を導出するための経済モデルを静学的一般均衡モデルの枠組みにて構築し、さらにそれを動学的一般均衡モデルへ拡張することで分析した。まず、静学モデルにおいては、廃棄物排出のうち最終処分にまわされ埋め立てられることに伴う利用可能土地面積の減少として、廃棄物の経済損失が求められることを示した。ただし、モデル内では、廃棄物の処理において生じる環境質の低下についても考慮したが、この部

分の実証的評価について、その具体的な方法は依然として課題として残っている。

続く、動学モデルへの拡張に伴っては、将来期に生じる廃棄物排出の経済損失をも考慮した効用を最大化する問題として動学的最適化問題の定式化を行った。そして、それを解くことにより、廃棄物処理に伴う被害まで含めた効用を最大化するための合成財消費と廃棄物処理サービス消費に関わる動的最適化条件について明らかにした。

さらに、数値シミュレーションを通して、実際に合成財消費と廃棄物処理サービス消費とが、どのような推移を示すのかを計測した。また、処理面積ありの場合となしの場合との計算を行うことにより廃棄物処理に伴う経済損失を導き、その計測結果も示した。以上の結果得られた知見として特に次の二つを指摘できる。一つは、自然ストックの価値は、その減耗に伴って逡増的に高まり、その結果環境被害が逡増的に大きくなる可能性がある点である。よって、環境問題では、早期の対策が重要となることが改めて示された。もう一つは、現在、経済活動を測る指標として用いられている国内総生産(GDP)を用いて環境問題を評価することの問題点の指摘である。環境問題では、自然ストックが減耗したとしてもその価値が高まる可能性があり、その場合には GDP も増加する可能性があり、環境評価の適切な指標としては、効用ベースでの評価値を用いるべきであるといえる。

以上、本研究からは重要な成果が得られたといえるが、本モデルは限定的な仮定の下で理論フレームを構築しそれを基に数値シミュレーションを行って廃棄物排出の経済損失を計測しているため、今後は

より現実的なモデルへ精緻化を行うことが課題といえる。特に、産業廃棄物の導入、廃棄物の最終処分のための費用の考慮、そして廃棄物処理に伴う心理的被害の計測を早急に行う必要がある。

【参考文献】

- 1) Johansson, P-O (1993) : *Cost-Benefit Analysis of Environmental Change*, Cambridge University Press, pp.90-112.
- 2) Xepapadeas, A (1997) : *Advanced Principles in Environmental Policy*, Edward Elgar Publishing.
- 3) 岩井克人(1994): 経済成長論, 岩井克人・伊藤元重編, 現代の経済理論, 第7章, pp.265-324.
- 4) 宇沢弘文(1987): 公共経済学を求めて, 岩波書店.
- 5) 森杉壽芳(1997): 社会資本整備の便益評価, 勁草書房, pp.127-148.
- 6) Miyata, Y. (1997) : An Intertemporal General Equilibrium Analysis of the Waste-Economic System, 土木計画学研究・論文集, No.14, pp.99-154.
- 7) 井堀利宏(1999): 自動車交通による環境問題の経済分析, 日交研シリーズ A-255, 日本交通政策研究会.
- 8) 西村清彦(1990): 経済学のための最適化理論入門, 東京大学出版会, pp.170-173.
- 9) 吉田和男(1993): 経済学に最低限必要な数学, 日本評論社, pp.180-187.
- 10) 日本経済新聞(1999): ごみ埋立処分量半減, 日本経済新聞社.
- 11) 宮田譲(1998): 廃棄物対策の評価, 応用一般均衡モデルの公共投資への適用, 土木計画学ワンデーセミナーシリーズ 15, pp.98-113.
- 12) 武藤慎一(1999): 環境政策評価への計量厚生分析の適用, 岐阜大学博士学位論文, pp.55-91.
- 13) 岐阜県企画部統計調査課(1996): 平成8年 岐阜県統計書, 岐阜県統計協会.
- 14) 経済企画庁経済研究所編(1997): 県民経済計算年報, 平成9年版, 大蔵省印刷局.
- 15) 総務庁統計局編(1999): 社会生活統計指標, 総務庁統計局.

Examining the Economic Loss of the Municipal Wastes Discharging

Shinichi MUTO, Akiyoshi TAKAGI, Shinichi WATANABE

In the recent argument to environmental problems, it is apprehended that the activities of future generation may be threatened by consuming excess natural resources or discharging more wastes and pollutants at present. In this paper, we focus on the waste discharge problems and try to evaluate its economic loss. First of all, we built the general equilibrium model on the static framework in which the relationship between agents' economic activities and discharged wastes is described, and we cleared the incidence item of economic loss for the waste discharges. Next, we extended the static model to dynamic model on the framework of an optimal economic growth model. And we indicated the levels of the composite good and waste disposal service at each time under the condition of maximized utility, and measured the change of the economic loss.