

# 完全競争下における3市場モデル ～財市場、廃棄物市場、 リサイクル資源市場を考慮したモデル～

## The model of three markets: the market of goods, waste, and recycled materials, under the perfect competition

斧 田 真理子

In this paper, I construct a static model of an economy where three economic agencies: households, recycling dealers, and producers, exist. Three markets: the market of goods, waste, and recycled materials, connect these agencies. The purpose of this paper is to show the framework of these three market models, based on “The Containers and Packaging Recycling Law” under the perfect competition. First, the equilibriums of each market are calculated, by considering the optimal behaviors of three agencies, respectively. Then using these results, supply and demand curves are drawn for each market. A comparative static analysis is also conducted on the equilibrium price of each market.

Mariko Onoda

JEL : Q20

キーワード : 廃棄物 (市場)、リサイクル、リサイクル資源 (市場)

Key words : Waste (Market), Recycling, Recycled Materials (Market)

### はじめに

1997年4月から本格施行されている「容器包装リサイクル法」(「容器包装に係る分別収集及び再商品化の促進等に関する法律」)は、家庭から排出されるごみの重量の約2～3割、容積で約6割を占める容器包装廃棄物について、リサイクルの促進等により、廃棄物の減量化を図るとともに、資源の有効利用を

図るために制定されたものである。この法律では、容器（商品を入れるもの）、包装（商品を包むもの）（商品の容器及び包装自体が有償である場合を含む。）のうち、中身商品が消費されたり、中身商品と分離されたりした際に不要になるものを「容器包装」と定義して、リサイクルの対象としている。本稿では、この「容器包装リサイクル法」における、ガラスびんのリサイクル等を念頭に置き、モデルの設定を行っている。

本モデルの特徴としては、家計、リサイクル業者、企業という 3 つの経済主体、そして、それらの主体をつなぐ財市場、廃棄物市場、リサイクル資源市場という 3 つの市場を考えている点が挙げられる。先行研究では、家計の最適化問題および企業の最適化問題の中に、廃棄物処理やリサイクルに関連した税金・補助金などを組み込んだモデルを設定している場合がほとんどであり、廃棄物市場やリサイクル資源市場を明示的に導入したモデルはほとんど見られない。そこで、本研究では、リサイクル業者の行動を考え、廃棄物市場とリサイクル資源市場を結びつけることを試みている。

また、3 つの市場それぞれの均衡条件式を用いて比較静学方程式を設定し、各市場の均衡価格に関して、比較静学分析を行う。その際、政府が操作できる政策変数の一例として、家計の不法投棄に対する摘発確率に着目し、摘発確率が上昇したときに、各市場の均衡価格がどのように変化するかについて分析する。各市場の需要曲線や供給曲線等のグラフのシフトを用い、比較静学の結果が生じるメカニズムについて説明する。

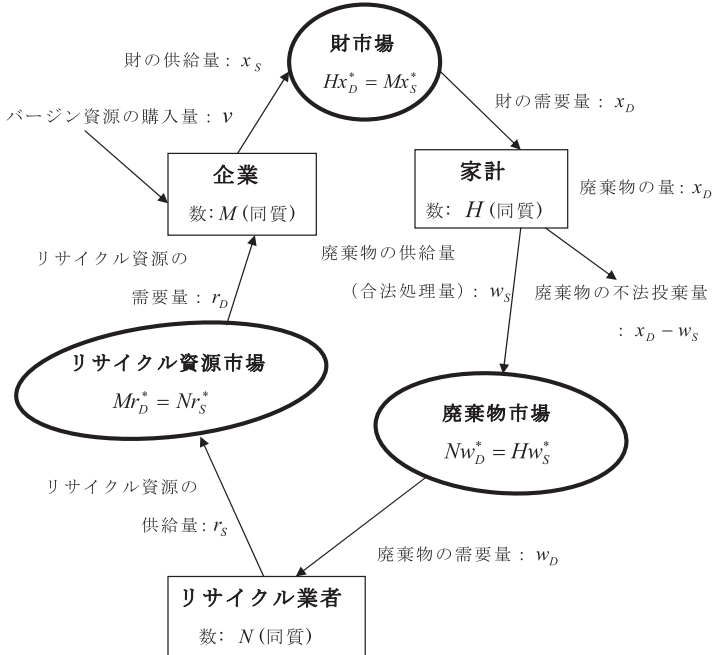
## 1. モデル

本章では、まず、「廃棄物とリサイクルの概念図」について説明する。その後、家計、リサイクル業者、企業それぞれの行動に関するモデルを提示し、各主体の主体均衡から、財市場、廃棄物市場、リサイクル市場における需要曲線および供給曲線を求める。さらに、需給が均衡する取引数量と価格を求める。

### 1.1 廃棄物とリサイクルの概念図

まず、本稿のモデル分析の土台となる「廃棄物とリサイクルの概念図」について見ていくことにする。概念図は以下のように表される。

【図 1】 廃棄物とリサイクルの概念図



本モデルでは、家計、リサイクル業者、企業という3つの経済主体を考える。それぞれの数は、家計が  $H$  (同質)、リサイクル業者が  $N$  (同質)、企業が  $M$  (同質) とし、完全競争を仮定する。また、家計と企業をつなぐ財市場、家計とリサイクル業者をつなぐ廃棄物市場、リサイクル業者と企業をつなぐリサイクル資源市場という3つの市場を考える。

家計は、財市場から財を需要し、廃棄物市場へ廃棄物を供給する。廃棄物処理に関する家計の選択肢は2つあり、合法処理するか、あるいは不法投棄す

るかである。合法処理された廃棄物は廃棄物市場に運ばれ、リサイクル業者によって需要され、リサイクル資源に生まれ変わる一方、不法投棄された廃棄物は、いわゆる「ごみ」となって散乱し、環境被害の原因となる。家計は、廃棄物処理にかかわる費用等も考慮に入れた所得制約のもとで、財の需要量と廃棄物の合法処理量（以下では、廃棄物の供給量とも記述する。）に関して効用が最大となるように行動するものとする。

リサイクル業者は、廃棄物市場から廃棄物を需要し、その廃棄物を用いてリサイクル資源を生み出す。そして、生み出されたリサイクル資源は、リサイクル資源市場へと供給される。リサイクル業者は、廃棄物の購入費用に加え、廃棄物をリサイクル工場まで運ぶための運搬費用を負担する一方、リサイクル資源を生産して企業へ売ることによって収入を得る。これらの費用と収入を考慮した利潤が最大となるように、リサイクル業者は行動するものとする。

企業は、リサイクル資源市場からリサイクル資源を需要し、財市場へと財を供給する。財を生産する際に企業が利用できる資源は、バージン資源とリサイクル資源の 2 つであるとする。後者のリサイクル資源は、リサイクル業者によってリサイクル資源市場に供給された資源を購入して利用することになる。企業は、財の生産による収入、バージン資源およびリサイクル資源の購入費用を考慮した利潤を考え、それが最大となるように行動する。

## 1.2 家計の行動

まず、家計の行動を見ていく。家計は、廃棄物を生じさせる財を  $x_D$  単位需要し、その結果発生する廃棄物も、 $x_D$  単位であると仮定する。この  $x_D$  単位の廃棄物の処理に関して、家計は、合法処理か不法投棄かという 2 つの選択肢を持ち、合法処理されて廃棄物市場へ供給される量は  $w_S$ 、残りの  $x_D - w_S$  は不法投棄される量である。家計の合法処理によって廃棄物市場に運ばれた廃棄物は、リサイクル資源の原料としてリサイクル業者によって購入されることになり、その売り上げは、家計にとっての収入となる。本モデルでは、その収入を、廃棄物 1 単位あたり  $p_w$  とする。また、家計が合法処理を行う際には、手間費用（あるいは運搬費用）もかかるものとする。ただ、それらの負担は、

廃棄物が増えるにつれて重くなると考え、 $\frac{\beta}{2}(w_S)^2$  と 2 乗の形で表すことにする。

一方、不法投棄にかかわる料金・費用としては、期待罰金額と心理的費用（あるいは運搬費用）を考える。不法投棄とは、家計から出た廃棄物をこっそりと山奥などに投げ捨てることであるが、現行の法律では、不法投棄が見つかった場合には罰金が課せられることもある。また、法律に違反して不法投棄を行うことは、心理的負担も大きいと言える。ここで、不法投棄 1 単位あたりの期待罰金額は  $\pi\phi$  で表す。ただし、 $\pi$  ( $0 \leq \pi \leq 1$ ) は不法投棄が摘発される確率、 $\phi$  ( $\phi > 0$ ) は不法投棄 1 単位あたりの罰金額とする。不法投棄が 1 単位見つかるごとに罰金が課せられると考え、線形関数を仮定している。さらに、不法投棄の心理的費用（あるいは運搬費用）は、合法処理の場合と同様に 2 乗の形で設定し、 $\frac{\eta}{2}(x_D - w_S)^2$  とする。

家計は、上述の廃棄物処理に関連する費用等も考慮に入れた所得制約条件のもとで、効用を最大化するものとする。

$$\text{Max}_{x_D, z} U(x_D, z) = \theta x_D - \frac{1}{2}(x_D)^2 + z \quad (1-1)$$

$$\text{s.t. } I + p_w w_S = p x_D + z + \frac{\beta}{2}(w_S)^2 + \left\{ \pi\phi(x_D - w_S) + \frac{\eta}{2}(x_D - w_S)^2 \right\} \quad (1-2)$$

$$x_D \geq w_S \quad (1-3)$$

ただし、家計の所得  $I$  が十分に大きく、 $z > 0$  と仮定する。

まず、効用関数 (1-1) 式は、代表的な家計の効用を表すもので、準線形型に設定する。ここで、 $\theta$  は家計廃棄物を生じさせる財  $x$  に対する嗜好性（あるいは限界効用）を表し、 $z$  は家計廃棄物を生じさせない合成財の消費量であり、1 単位あたりの価格は 1 と基準化する。また、限界効用逓減の法則 ( $U' > 0$ ,  $U'' < 0$ ) が成立していなければならないので、 $U' = \theta - x_D > 0$ ,  $U'' = -1 (< 0)$ 、つまり  $x_D < \theta$  を仮定する。

次に、制約条件 (1-2)(1-3) 式に関して見ていく。 $I$  を家計の所得、 $p$  を財  $x_1$  単位あたりの価格とすると、所得制約は (1-2) 式のように表すことができ

る。(1-2) 式の左辺は、所得  $I$  と、廃棄物をリサイクル業者に売り渡すこと  
によって得られる収入  $p_w w_S$  を表し、右辺は、家計廃棄物を生じさせる財  $x$   
と生じさせない財  $z$  に対する支払い額  $p x_D + z$  と、廃棄物処理にかかわる  
費用の合計（合法処理にかかわる費用  $\frac{\beta}{2} (w_S)^2$  と、不法投棄にかかわる費用  
 $\pi\phi(x_D - w_S) + \frac{\eta}{2} (x_D - w_S)^2$  の合計）を表している。また、2 つめの制約で  
ある (1-3) 式は、一家計が出す廃棄物の量  $x_D$  と比べて、一家計による廃棄物  
の合法処理量  $w_S$  は少ないか等しい、ということの意味している。つまり、道  
路に落ちている廃棄物をわざわざ拾って、廃棄物市場へと運ぶような個人は考  
えていない。

以上より、(1-2) 式を (1-1) 式に代入して  $z$  を消去すると、(1-1) 式は (1-4)  
式のように、財の需要量  $x_D$  と廃棄物の供給量  $w_S$  の関数となる。(1-4) 式に  
関して 1 階の条件を求めると、(1-5)(1-6) 式のように表すことができる。

$$\begin{aligned} \text{Max}_{x_D, w_S} U(x_D, w_S) &= \theta x_D - \frac{1}{2} (x_D)^2 \\ &+ \left[ I + p_w w_S - p x_D - \frac{\beta}{2} (w_S)^2 - \left\{ \pi\phi(x_D - w_S) + \frac{\eta}{2} (x_D - w_S)^2 \right\} \right] \end{aligned} \quad (1-4)$$

$$\text{F.O.C.} \quad \frac{\partial U}{\partial x_D} = \theta - x_D - p - \pi\phi - \eta(x_D - w_S) = 0 \quad (1-5)$$

$$\frac{\partial U}{\partial w_S} = p_w - \beta w_S + \pi\phi + \eta(x_D - w_S) = 0 \quad (1-6)$$

(1-5)(1-6) 式を、財の需要量  $x_D$  と廃棄物の供給量  $w_S$  について解くと、主体  
均衡における財の需要量  $x_D^*$ 、主体均衡における廃棄物の供給量  $w_S^*$  は、それ  
ぞれ以下のようになる。

$$x_D^* = \frac{-(\beta + \eta)p + \eta p_w + (\beta + \eta)\theta - \beta\pi\phi}{\beta + \eta + \beta\eta} \quad (1-7)$$

$$w_S^* = \frac{-\eta p + (\eta + 1)p_w + \eta\theta + \pi\phi}{\beta + \eta + \beta\eta} \quad (1-8)$$

ここで、(1-3) 式の条件に、(1-7)(1-8) 式を代入すると、(1-9) 式が成立する。  
つまり、(1-3) 式の制約条件を満たすためには、パラメータ  $\pi$  に関して、(1-9)  
式が成立していなければならない。

$$\pi \leq \frac{\beta(\theta - p) - p_w}{(\beta + 1)\phi} \quad (1-9)$$

### 1.3 リサイクル業者の行動

次に、リサイクル業者の行動を見ていく。リサイクル業者は、家計の合法処理によって集められた廃棄物  $w_D$  を、廃棄物市場から需要し、その廃棄物を用いてリサイクル資源  $r_S$  を生み出し、リサイクル資源市場へと供給する。リサイクル資源市場へ供給されたりリサイクル資源は、企業によって1単位あたり  $p_r$  の価格で購入され、その売り上げは、リサイクル業者の収入となる。このとき、リサイクル資源の生産関数を、以下のように表す。

$$f^R(w_D) = r_S = (w_D)^\varepsilon \quad (1-10)$$

ただし、 $\varepsilon$  はリサイクル資源の生産にかかわる生産性パラメータであり、 $0 < \varepsilon < 1$  とする。

また、リサイクル業者は、以下の2つの費用を負担することとなる。1つめは、家計の合法処理によって廃棄物市場に運ばれた廃棄物を、リサイクル資源の原料として購入する際に負担する費用である。この購入費用は、家計に対して支払われることとなり、家計にとっては収入となる。家計の行動でも記したように、この価格は、廃棄物1単位あたり  $p_w$  とする。2つめの費用は、廃棄物の運搬費用である。本モデルは、ガラスびんなどのリサイクルを念頭に置いたモデルなので、家計から合法処理によって運ばれた廃棄物は、いったん、市町村による「指定保管施設」に保管されるとする。したがって、各リサイクル業者は、その保管施設からリサイクル工場へ運搬しなければならないが、その際の廃棄物1単位あたりの運搬費用を  $\psi$  と設定する。

以上を踏まえた上で、リサイクル業者の行動を考えると、リサイクル業者の利潤は、リサイクル資源の生産による収入、リサイクルに使用する廃棄物の購入費用、そして、リサイクル工場までの廃棄物の運搬費用で構成され、この利潤が最大となるよう行動すると考えられる。したがって、リサイクル業者の利潤最大化問題は (1-11) 式で表され、1階の条件は (1-12) 式となる。

$$\begin{aligned} \text{Max}_{w_D} \prod^R(w_D) &= p_r \cdot f^R(w_D) - p_w w_D - \psi w_D \\ &= p_r (w_D)^\varepsilon - (p_w + \psi) w_D \end{aligned} \quad (1-11)$$

$$\text{F.O.C.} \quad \frac{\partial \prod^R}{\partial w_D} = \varepsilon p_r (w_D)^{\varepsilon-1} - (p_w + \psi) = 0 \quad (1-12)^1$$

(1-12) 式より、主体均衡における廃棄物の需要量  $w_D^*$  は、以下のように表すことができる。

$$w_D^* = \left( \frac{p_w + \psi}{\varepsilon p_r} \right)^{\frac{1}{\varepsilon-1}} \quad (1-13)$$

また、(1-13) 式を、リサイクル資源の生産関数 (1-10) 式に代入すると、主体均衡におけるリサイクル資源の供給量  $r_S^*$  は、(1-14) 式のように表される。

$$r_S^* = (w_D^*)^\varepsilon = \left( \frac{p_w + \psi}{\varepsilon p_r} \right)^{\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}} \quad (1-14)$$

#### 1.4 企業の行動

続いて、企業の行動を見ていく。企業は、財市場に財を供給するが、その財の生産を行う際、バージン資源  $v$  とリサイクル資源  $r_D$  の両方を用いて生産を行うものとする。前者のバージン資源は、本モデルでは考察の対象とはしていない「バージン資源市場」から、1 単位あたり  $p_v$  の価格で購入すると仮定する。一方、後者のリサイクル資源は、リサイクル業者によって生み出され、リサイクル資源市場に供給される資源である。企業は、このリサイクル資源を、1 単位あたり  $p_r$  の価格で、リサイクル資源市場から購入する。このとき、バージン資源とリサイクル資源を用いて作られる財の生産関数を、(1-15) 式のようにコブ＝ダグラス型と仮定する。ただし、生産を行う際には、バージン資源とリサイクル資源の両方を必ず使用するものとし、 $v > 0$ 、 $r_D > 0$  を仮定する。

$$f^P(x_S) = v^\tau (r_D)^\rho \quad (1-15)$$

1) ここで、以下の式が成立するので、2 階の条件も満たすことになる。

$$\frac{\partial^2 \Pi}{\partial (w_D)^2} = \varepsilon(\varepsilon - 1) p_r (w_D)^{\varepsilon-2} < 0.$$



ここで、 $\tau$  はバージン資源を用いて生産した場合の生産性パラメータ、 $\rho$  はリサイクル資源を用いて生産した場合の生産性パラメータを示している。企業は、生産した財を財市場に供給し、1単位あたり  $p$  の価格で家計に購入され、その売り上げが企業の収入となる。

以上より、企業の最適化行動は、財の生産から得られる収入、およびバージン資源とリサイクル資源の購入費用を考慮した利潤が最大となるように行動することである。したがって、企業の利潤最大化問題は (1-16) 式で表され、1階の条件は (1-17)(1-18) 式となる。

$$\begin{aligned} \text{Max}_{v, r_D} \Pi^P(v, r_D) &= p \cdot f^P(x_S) - (p_v v + p_r r_D) \\ &= p v^\tau (r_D)^\rho - (p_v v + p_r r_D) \end{aligned} \quad (1-16)$$

$$\text{F.O.C.} \quad \frac{\partial \Pi^P}{\partial v} = \tau p v^{\tau-1} (r_D)^\rho - p_v = 0 \quad (1-17)$$

$$\frac{\partial \Pi^P}{\partial r_D} = \rho p v^\tau (r_D)^{\rho-1} - p_r = 0 \quad (1-18)^2$$

(1-17)(1-18) 式より、主体均衡におけるリサイクル資源の需要量  $r_D^*$  は、以下のように表すことができる。

$$r_D^* = \left[ \left( \frac{p_r}{\rho p} \right) \left( \frac{\tau p_r}{\rho p v} \right)^{-\tau} \right]^{\frac{1}{\tau+\rho-1}} \quad (1-19)$$

また、財の生産関数 (1-15) 式を適用して計算すると、主体均衡における財の供給量  $x_S^*$  は、(1-20) 式のように表される。

$$x_S^* = \left[ \left( \frac{p_r}{\rho p} \right)^{\tau+\rho} \left( \frac{\tau p_r}{\rho p v} \right)^{-\tau} \right]^{\frac{1}{\tau+\rho-1}} \quad (1-20)$$

2) ここで、以下の式が成立するので、2階の条件も満たすことになる。

$$\begin{aligned} \begin{vmatrix} \frac{\partial^2 \Pi^P}{\partial v^2} & \frac{\partial^2 \Pi^P}{\partial v \partial r_D} \\ \frac{\partial^2 \Pi^P}{\partial r_D \partial v} & \frac{\partial^2 \Pi^P}{\partial (r_D)^2} \end{vmatrix} &= \begin{vmatrix} \tau(\tau-1) p v^{\tau-2} (r_D)^\rho & \tau \rho p v^{\tau-1} (r_D)^{\rho-1} \\ \tau \rho p v^{\tau-1} (r_D)^{\rho-1} & \rho(\rho-1) p v^\tau (r_D)^{\rho-2} \end{vmatrix} \\ &= \tau \rho (1 - \tau - \rho) \{ p v^{\tau-1} (r_D)^{\rho-1} \}^2 > 0. \end{aligned}$$

### 1.5 各市場の主体均衡量のまとめ

ではここで、1.2～1.4 で各主体の最適化行動を考えることによって導出された、各市場の主体均衡量についてまとめておく。まず、財市場では、財の需要量  $x_D^*$  は、家計の最適化行動の (1-7) 式で表され、財の供給量  $x_S^*$  は、企業の最適化行動の (1-20) 式で表された。次に、廃棄物市場では、廃棄物の需要量  $w_D^*$  は、リサイクル業者の最適化行動の (1-13) 式で表され、廃棄物の供給量  $w_S^*$  は、家計の最適化行動の (1-8) 式で表された。そして、最後に、リサイクル資源市場では、リサイクル資源の需要量  $r_D^*$  は、企業の最適化行動の (1-19) 式で表され、リサイクル資源の供給量  $r_S^*$  は、リサイクル業者の最適化行動の (1-14) 式で表された。

$$x_D^* = \frac{-(\beta + \eta)p + \eta p_w + (\beta + \eta)\theta - \beta\pi\phi}{\beta + \eta + \beta\eta} \quad (1-7)$$

$$x_S^* = \left[ \left( \frac{p_r}{\rho p} \right)^{\tau + \rho} \left( \frac{\tau p_r}{\rho p_v} \right)^{-\tau} \right]^{\frac{1}{\tau + \rho - 1}} \quad (1-20)$$

$$w_D^* = \left( \frac{p_w + \psi}{\varepsilon p_r} \right)^{\frac{1}{\varepsilon - 1}} \quad (1-13)$$

$$w_S^* = \frac{-\eta p + (\eta + 1)p_w + \eta\theta + \pi\phi}{\beta + \eta + \beta\eta} \quad (1-8)$$

$$r_D^* = \left[ \left( \frac{p_r}{\rho p} \right) \left( \frac{\tau p_r}{\rho p_v} \right)^{-\tau} \right]^{\frac{1}{\tau + \rho - 1}} \quad (1-19)$$

$$r_S^* = \left( \frac{p_w + \psi}{\varepsilon p_r} \right)^{\frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1}} \quad (1-14)$$

### 1.6 各市場の均衡式

本節では、各市場の需給均衡式を具体的に示すことにする。本モデルでは、家計の数が  $H$  (同質)、リサイクル業者の数が  $N$  (同質)、企業の本数が  $M$  (同質) とし、完全競争を仮定しているので、財市場の均衡式は  $Hx_D^* = Mx_S^*$ 、廃棄物市場の均衡式は  $Nw_D^* = Hw_S^*$ 、リサイクル資源市場の均衡式は  $Mr_D^* = Nr_S^*$  と表すことができる。これらの均衡式に、1.5 でまとめた各市場の主体均衡量を代入すると、各市場の均衡式は、以下の (1-21)～(1-23) 式ようになる。

$$H \cdot \frac{-(\beta + \eta)p + \eta p_w + (\beta + \eta)\theta - \beta\pi\phi}{\beta + \eta + \beta\eta} = M \cdot \left[ \left( \frac{p_r}{\rho p} \right)^{\tau + \rho} \left( \frac{\tau p_r}{\rho p_v} \right)^{-\tau} \right]^{\frac{1}{\tau + \rho - 1}} \quad (1-21)$$

$$N \cdot \left( \frac{p_w + \psi}{\varepsilon p_r} \right)^{\frac{1}{\varepsilon - 1}} = H \cdot \frac{-\eta p + (\eta + 1)p_w + \eta\theta + \pi\phi}{\beta + \eta + \beta\eta} \quad (1-22)$$

$$M \cdot \left[ \left( \frac{p_r}{\rho p} \right) \left( \frac{\tau p_r}{\rho p_v} \right)^{-\tau} \right]^{\frac{1}{\tau + \rho - 1}} = N \cdot \left( \frac{p_w + \psi}{\varepsilon p_r} \right)^{\frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1}} \quad (1-23)$$

まず、(1-21) 式は、財市場の均衡を表す式であり、(1-7) 式で表された  $x_D^*$  と、(1-20) 式で表された  $x_S^*$  の均等式である。(1-22) 式は、廃棄物市場の均衡を表す式であり、(1-13) 式で表された  $w_D^*$  と、(1-8) 式で表された  $w_S^*$  の均等式である。そして、(1-23) 式は、リサイクル資源市場の均衡を表す式であり、(1-19) 式で表された  $r_D^*$  と、(1-14) 式で表された  $r_S^*$  の均等式である。(1-21) 式からは均衡における財の価格  $p^*$ 、(1-22) 式からは均衡における廃棄物の価格  $p_w^*$ 、そして、(1-23) 式からは均衡におけるリサイクル資源の価格  $p_r^*$  を求めることができる。

## 1.7 各市場の需要曲線と供給曲線

この節では、1.5 と 1.6 を踏まえ、各市場の需要曲線と供給曲線を求め、それらをグラフで描くことを考える。

まず、(1-7) 式より、財の需要曲線は (1-24) 式のように表すことができる。

$$p(x_D^*) = - \left( \frac{\beta + \eta + \beta\eta}{\beta + \eta} \right) x_D^* + \theta + \frac{p_w \eta - \beta\pi\phi}{\beta + \eta} \quad (1-24)^3$$

同様に、(1-20) 式より、財の供給曲線は以下のように表すことができる。

3) (1-7) 式において、 $x_D^* > 0$  を解くと、 $\theta + \frac{p_w \eta - \beta\pi\phi}{\beta + \eta} > p (> 0)$  となるので、財の需要曲線 (1-24) 式の切片は、プラスとなる。

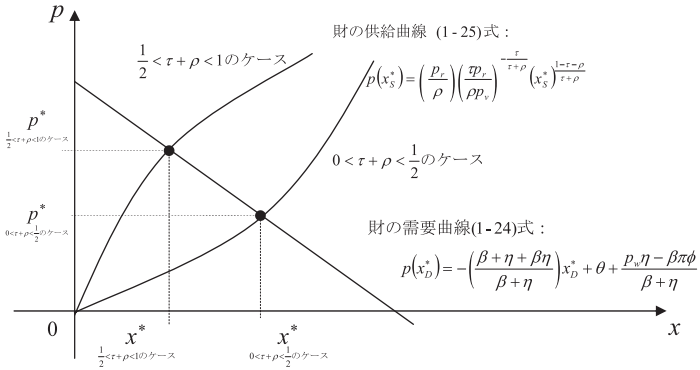
$$p(x_S^*) = \left(\frac{p_r}{\rho}\right) \left(\frac{\tau p_r}{\rho p_v}\right)^{-\frac{\tau}{\tau+\rho}} (x_S^*)^{\frac{1-\tau-\rho}{\tau+\rho}}$$

ただし、 $0 < \tau + \rho < \frac{1}{2}$  ならば、下に凸の増加関数、 (1-25)<sup>4)</sup>

$\frac{1}{2} < \tau + \rho < 1$  ならば、上に凸の増加関数。

(1-24)(1-25) 式を図示すると、【図 2】 のようになる。このとき、図の中の  $p^*$  は、(1-21) 式から求められる、均衡における財の価格を表している。

【図 2】 財市場の需要曲線と供給曲線



次に、(1-13) 式より、廃棄物の需要曲線は (1-26) 式のように表すことができる。

4)  $\frac{\partial p}{\partial x_S^*} = \left(\frac{1-\tau-\rho}{\tau+\rho}\right) \left(\frac{p_r}{\rho}\right) \left(\frac{\tau p_r}{\rho p_v}\right)^{-\frac{\tau}{\tau+\rho}} (x_S^*)^{\frac{1-\tau-\rho}{\tau+\rho}-1} > 0,$   
 $\frac{\partial^2 p}{\partial (x_S^*)^2} = \left(\frac{1-\tau-\rho}{\tau+\rho} - 1\right) \left(\frac{1-\tau-\rho}{\tau+\rho}\right) \left(\frac{p_r}{\rho}\right) \left(\frac{\tau p_r}{\rho p_v}\right)^{-\frac{\tau}{\tau+\rho}} (x_S^*)^{\frac{1-\tau-\rho}{\tau+\rho}-2}$  より、  
 $0 < \tau + \rho < \frac{1}{2}$  ならば、 $\frac{\partial^2 p}{\partial (x_S^*)^2} > 0$  となり、下に凸の増加関数、  
 $\frac{1}{2} < \tau + \rho < 1$  ならば、 $\frac{\partial^2 p}{\partial (x_S^*)^2} < 0$  となり、上に凸の増加関数。

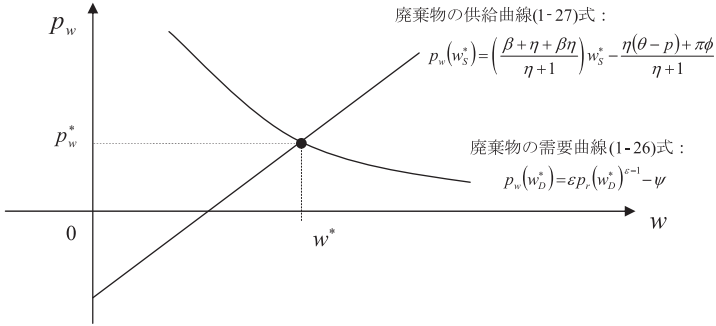
$$p_w(w_D^*) = \varepsilon p_r(w_D^*)^{\varepsilon-1} - \psi \quad (1-26)^5$$

同様に、(1-8)式より、廃棄物の供給曲線は(1-27)式のように表すことができる。

$$p_w(w_S^*) = \left( \frac{\beta + \eta + \beta\eta}{\eta + 1} \right) w_S^* - \frac{\eta(\theta - p) + \pi\phi}{\eta + 1} \quad (1-27)^6$$

(1-26)(1-27)式を図示すると、【図3】のようになる。このとき、図の中の $p_w^*$ は、(1-22)式から求められる、均衡における廃棄物の価格を表している。

【図3】 廃棄物市場の需要曲線と供給曲線



最後に、(1-19)式より、リサイクル資源の需要曲線は(1-28)式のように表すことができる。

$$p_r(r_D^*) = \left( \frac{1}{\rho p} \right)^{-\frac{1}{1-\tau}} \left( \frac{\tau}{\rho p v} \right)^{\frac{\tau}{1-\tau}} (r_D^*)^{-\frac{1-\tau-\rho}{1-\tau}} \quad (1-28)^7$$

5)  $\frac{\partial p_w}{\partial w_D^*} = \varepsilon(\varepsilon - 1)p_r(w_D^*)^{\varepsilon-2} < 0$ ,  $\frac{\partial^2 p_w}{\partial (w_D^*)^2} = \varepsilon(\varepsilon - 1)(\varepsilon - 2)p_r(w_D^*)^{\varepsilon-3} > 0$  より、下に凸の減少関数。

6) (1-8)式において、 $w_s^* > 0$ を解くと、 $-\frac{\eta(\theta-p)+\pi\phi}{\eta+1} < p_w$ となるので、廃棄物の供給曲線(1-27)式の切片は、プラスとマイナスのどちらも考えられるが、【図3】ではマイナスとしている。

7)  $\frac{\partial p_r}{\partial r_D^*} = -\left( \frac{1-\tau-\rho}{1-\tau} \right) \left( \frac{1}{\rho p} \right)^{-\frac{1}{1-\tau}} \left( \frac{\tau}{\rho p v} \right)^{\frac{\tau}{1-\tau}} (r_D^*)^{-\frac{1-\tau-\rho}{1-\tau}-1} < 0$ ,  
 $\frac{\partial^2 p_r}{\partial (r_D^*)^2} = \left( \frac{1-\tau-\rho}{1-\tau} + 1 \right) \left( \frac{1-\tau-\rho}{1-\tau} \right) \left( \frac{1}{\rho p} \right)^{-\frac{1}{1-\tau}} \left( \frac{\tau}{\rho p v} \right)^{\frac{\tau}{1-\tau}} (r_D^*)^{-\frac{1-\tau-\rho}{1-\tau}-2} > 0$

より、下に凸の減少関数。

同様に、(1-14) 式より、リサイクル資源の供給曲線は (1-29) 式のように表すことができる。

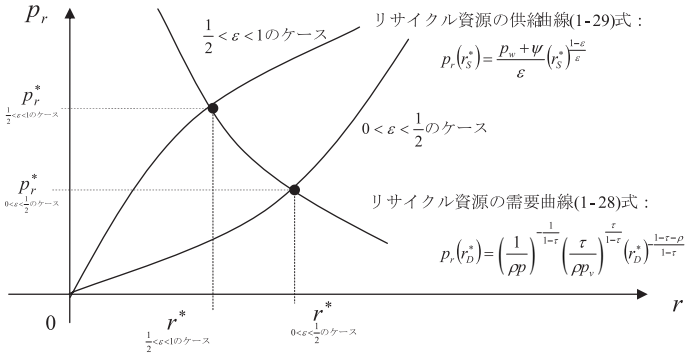
$$p_r(r_S^*) = \frac{p_w + \psi}{\varepsilon} (r_S^*)^{\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}}$$

ただし、 $0 < \varepsilon < \frac{1}{2}$  ならば、下に凸の増加関数。 (1-29)<sup>8)</sup>

$\frac{1}{2} < \varepsilon < 1$  ならば、上に凸の増加関数。

(1-28)(1-29) 式を図示すると、【図 4】 のようになる。このとき、図の中の  $p_r^*$  は、(1-23) 式から求められる、均衡におけるリサイクル資源の価格を表している。

【図 4】 リサイクル資源市場の需要曲線と供給曲線



次章では、3 市場の均衡式、(1-21)～(1-23) 式に関して比較静学方程式を設定し、比較静学分析を行う。

8)  $\frac{\partial p_r}{\partial r_S^*} = \left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}\right) \frac{p_w + \psi}{\varepsilon} (r_S^*)^{\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} - 1} > 0$ ,

$\frac{\partial^2 p_r}{\partial (r_S^*)^2} = \left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} - 1\right) \left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}\right) \frac{p_w + \psi}{\varepsilon} (r_S^*)^{\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} - 2}$  より、

$0 < \varepsilon < \frac{1}{2}$  ならば、 $\frac{\partial^2 p_r}{\partial (r_S^*)^2} > 0$  となり、下に凸の増加関数、

$\frac{1}{2} < \varepsilon < 1$  ならば、 $\frac{\partial^2 p_r}{\partial (r_S^*)^2} < 0$  となり、上に凸の増加関数。

## 2. 比較静学分析

本章では、1.6 で記した3本の市場の均衡式を用いて、家計の不法投棄に対する摘発確率が変化したときに、各市場の均衡価格がどのように変化するかに関して、比較静学分析を行う。さらに、均衡価格の変化が生じたメカニズムを、グラフを用いて考察する。

### 2.1 各市場の均衡価格 $p^*, p_w^*, p_r^*$ に関する比較静学分析

1.6 で求めた3本の市場の均衡式、(1-21)～(1-23) 式の右辺を左辺に移項し、それぞれ、 $F^1, F^2, F^3$  とおくと、以下の(2-1)～(2-3) 式が得られる。

$$F^1(p^*, p_w^*, p_r^*) \equiv H \cdot \frac{-(\beta + \eta)p^* + \eta p_w^* + (\beta + \eta)\theta - \beta\pi\phi}{\beta + \eta + \beta\eta} - M \cdot \left[ \left( \frac{p_r^*}{\rho p^*} \right)^{\tau + \rho} \left( \frac{\tau p_r^*}{\rho p_v} \right)^{-\tau} \right]^{\frac{1}{\tau + \rho - 1}} = 0 \quad (2-1)$$

$$F^2(p^*, p_w^*, p_r^*) \equiv N \cdot \left( \frac{p_w^* + \psi}{\varepsilon p_r^*} \right)^{\frac{1}{\varepsilon - 1}} - H \cdot \frac{-\eta p^* + (\eta + 1)p_w^* + \eta\theta + \pi\phi}{\beta + \eta + \beta\eta} = 0 \quad (2-2)$$

$$F^3(p^*, p_w^*, p_r^*) \equiv M \cdot \left[ \left( \frac{p_r^*}{\rho p^*} \right) \left( \frac{\tau p_r^*}{\rho p_v} \right)^{-\tau} \right]^{\frac{1}{\tau + \rho - 1}} - N \cdot \left( \frac{p_w^* + \psi}{\varepsilon p_r^*} \right)^{\frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1}} = 0 \quad (2-3)$$

(2-1)～(2-3) 式より、比較静学方程式は、以下のように表すことができる。

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial F^1}{\partial p^*} & \frac{\partial F^1}{\partial p_w^*} & \frac{\partial F^1}{\partial p_r^*} \\ \frac{\partial F^2}{\partial p^*} & \frac{\partial F^2}{\partial p_w^*} & \frac{\partial F^2}{\partial p_r^*} \\ \frac{\partial F^3}{\partial p^*} & \frac{\partial F^3}{\partial p_w^*} & \frac{\partial F^3}{\partial p_r^*} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dp^* \\ dp_w^* \\ dp_r^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{\partial F^1}{\partial \pi} & -\frac{\partial F^1}{\partial \phi} & -\frac{\partial F^1}{\partial \beta} & -\frac{\partial F^1}{\partial \eta} & -\frac{\partial F^1}{\partial \tau} & -\frac{\partial F^1}{\partial \rho} & \dots \\ -\frac{\partial F^2}{\partial \pi} & -\frac{\partial F^2}{\partial \phi} & -\frac{\partial F^2}{\partial \beta} & -\frac{\partial F^2}{\partial \eta} & -\frac{\partial F^2}{\partial \tau} & -\frac{\partial F^2}{\partial \rho} & \dots \\ -\frac{\partial F^3}{\partial \pi} & -\frac{\partial F^3}{\partial \phi} & -\frac{\partial F^3}{\partial \beta} & -\frac{\partial F^3}{\partial \eta} & -\frac{\partial F^3}{\partial \tau} & -\frac{\partial F^3}{\partial \rho} & \dots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\pi \\ d\phi \\ d\beta \\ d\eta \\ d\tau \\ d\rho \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (2-4)$$

ここで、ヤコビアンは、(2-5) 式のようになる。

$$\begin{aligned}
 J &= \begin{vmatrix} \frac{\partial F^1}{\partial p^*} & \frac{\partial F^1}{\partial p_w^*} & \frac{\partial F^1}{\partial p_r^*} \\ \frac{\partial F^2}{\partial p^*} & \frac{\partial F^2}{\partial p_w^*} & \frac{\partial F^2}{\partial p_r^*} \\ \frac{\partial F^3}{\partial p^*} & \frac{\partial F^3}{\partial p_w^*} & \frac{\partial F^3}{\partial p_r^*} \end{vmatrix} \\
 &= \begin{vmatrix} H \frac{\partial x_D^*}{\partial p^*} - M \frac{\partial x_S^*}{\partial p^*} - \frac{\partial x_D^*}{\partial p_w^*} \oplus & -M \frac{\partial x_S^*}{\partial p_r^*} \oplus \\ -H \frac{\partial w_D^*}{\partial p^*} \oplus & N \frac{\partial w_D^*}{\partial p_w^*} - H \frac{\partial w_S^*}{\partial p_w^*} - & N \frac{\partial w_D^*}{\partial p_r^*} \oplus \\ M \frac{\partial r_D^*}{\partial p^*} \oplus & -N \frac{\partial r_S^*}{\partial p_w^*} \oplus & M \frac{\partial r_D^*}{\partial p_r^*} - N \frac{\partial r_S^*}{\partial p_r^*} - \end{vmatrix} \quad (2-5)
 \end{aligned}$$

本稿では、操作できる変数として、家計の不法投棄に対する摘発確率  $\pi$  に注目し、摘発確率  $\pi$  が変化したときに、各市場の均衡価格がどのように変化するかを分析する。ここで、摘発確率  $\pi$  以外を固定すると、以下のようになる。

$$J \begin{bmatrix} \frac{dp^*}{d\pi} \\ \frac{dp_w^*}{d\pi} \\ \frac{dp_r^*}{d\pi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{\partial F^1}{\partial \pi} \\ -\frac{\partial F^2}{\partial \pi} \\ -\frac{\partial F^3}{\partial \pi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\beta\phi}{\beta+\eta+\beta\eta} H \\ \phi \\ 0 \end{bmatrix} \cdot \quad (2-6)$$

(2-6) 式より、(2-7) 式が成立する。

$$\begin{aligned}
 \frac{dp^*}{d\pi} &= \frac{\begin{vmatrix} -\frac{\partial F^1}{\partial \pi} & \frac{\partial F^1}{\partial p_w^*} & \frac{\partial F^1}{\partial p_r^*} \\ -\frac{\partial F^2}{\partial \pi} & \frac{\partial F^2}{\partial p_w^*} & \frac{\partial F^2}{\partial p_r^*} \\ -\frac{\partial F^3}{\partial \pi} & \frac{\partial F^3}{\partial p_w^*} & \frac{\partial F^3}{\partial p_r^*} \end{vmatrix}}{|J|}, & \frac{dp_w^*}{d\pi} &= \frac{\begin{vmatrix} \frac{\partial F^1}{\partial p^*} - \frac{\partial F^1}{\partial \pi} & \frac{\partial F^1}{\partial p_r^*} \\ \frac{\partial F^2}{\partial p^*} - \frac{\partial F^2}{\partial \pi} & \frac{\partial F^2}{\partial p_r^*} \\ \frac{\partial F^3}{\partial p^*} - \frac{\partial F^3}{\partial \pi} & \frac{\partial F^3}{\partial p_r^*} \end{vmatrix}}{|J|}, \\
 \frac{dp_r^*}{d\pi} &= \frac{\begin{vmatrix} \frac{\partial F^1}{\partial p^*} & \frac{\partial F^1}{\partial p_w^*} - \frac{\partial F^1}{\partial \pi} \\ \frac{\partial F^2}{\partial p^*} & \frac{\partial F^2}{\partial p_w^*} - \frac{\partial F^2}{\partial \pi} \\ \frac{\partial F^3}{\partial p^*} & \frac{\partial F^3}{\partial p_w^*} - \frac{\partial F^3}{\partial \pi} \end{vmatrix}}{|J|}. \quad (2-7)
 \end{aligned}$$

クラメールの公式を用いて (2-7) 式を計算すると、以下のような結果が得られる。

$$\begin{aligned}
 J < 0 \text{ ならば、} & \frac{dp^*}{d\pi} < 0, \quad \frac{dp_w^*}{d\pi} < 0, \quad \frac{dp_r^*}{d\pi} < 0. \quad (2-8)^9 \\
 & \text{ただし、} p^* > 0, p_w^* > 0, p_r^* > 0.
 \end{aligned}$$

9) 価格調整メカニズムの安定性を前提とすると、ヤコビアン:  $J < 0$  が得られる。



つまり、不法投棄の摘発確率  $\pi$  が上昇したとき、均衡における財の価格  $p^*$ 、均衡における廃棄物の価格  $p_w^*$ 、均衡におけるリサイクル資源の価格  $p_r^*$  はすべて下落する。

以下では、(2-8) 式が成立するメカニズムについて考察する。

## 2.2 財市場・廃棄物市場への直接的な影響

### (財の需要曲線と廃棄物の供給曲線のシフト)

家計に対する不法投棄の摘発確率  $\pi$  が上昇し、不法投棄の取り締まりが強化されたとき、直接的に影響を受けるのは家計である。そこで、本節では、財の需要曲線および廃棄物の供給曲線のシフトという観点から、 $\pi$  の上昇が財市場と廃棄物市場へ与える影響について、メカニズムを解明することを試みる。

まず、財の需要曲線 (1-24) 式を摘発確率  $\pi$  で偏微分すると、(2-9) 式のようになる。

$$\frac{\partial p}{\partial \pi} = -\frac{\beta\phi}{\beta+\eta} < 0 \quad (2-9)$$

つまり、外生変数である  $\pi$  が上昇することによって、(1-24) 式で表される財の需要曲線は左へシフトし、均衡における財の価格  $p^*$  が下落することがわかる。これを図示したものが【図 5】である。

同様に、廃棄物の供給曲線 (1-27) 式を摘発確率  $\pi$  で偏微分すると、(2-10) 式のようになる。

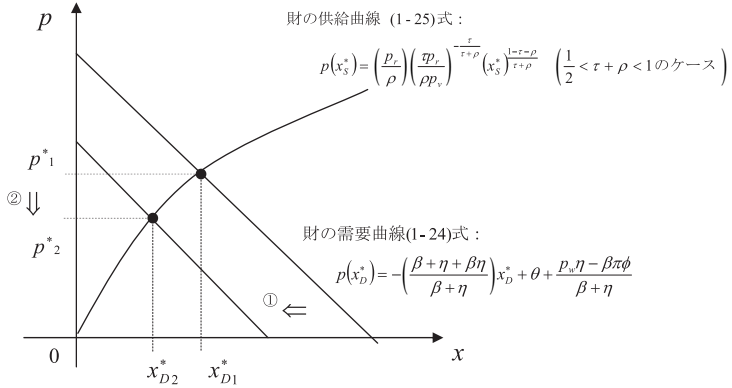
$$\frac{\partial p_w}{\partial \pi} = -\frac{\phi}{\eta+1} < 0 \quad (2-10)$$

つまり、外生変数である  $\pi$  が上昇することによって、(1-27) 式で表される廃棄物の供給曲線は右へシフトし、均衡における廃棄物の価格  $p_w^*$  が下落することがわかる。これを図示したものが【図 6】である。

【図 5】と【図 6】に関してまとめると、以下のようになる。家計の不法投棄に対する摘発確率  $\pi$  の上昇は、家計に 2 つの直接的影響を及ぼす。これらの影響は、グラフ自体のシフトによって示すことができ、1 つめの財の需要曲線のシフトは、均衡における財の価格  $p^*$  の下落をもたらす (【図 5】)、2 つめの廃棄物の供給曲線のシフトは、均衡における廃棄物の価格  $p_w^*$  の下落をもたらす (【図 6】)。

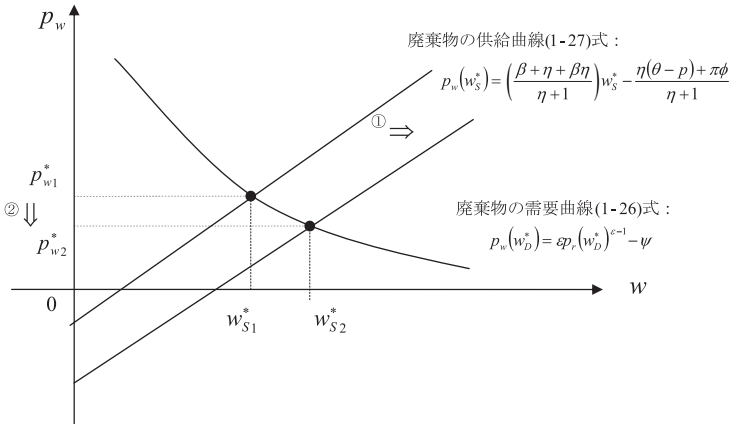
【図 5】財の需要曲線のシフトによる、財市場への影響<sup>10)</sup>

⇒均衡における財の価格  $p^*$  は下落



【図 6】廃棄物の供給曲線のシフトによる、廃棄物市場への影響

⇒均衡における廃棄物の価格  $p_w^*$  は下落



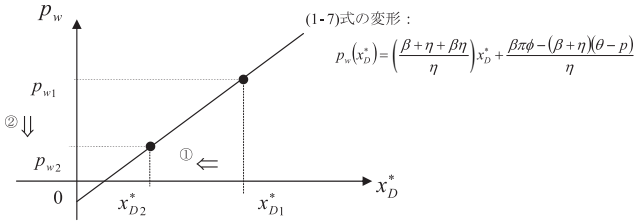
10) 財の供給曲線に関して、【図 5】では、上に凸の増加関数となる  $\frac{1}{2} < \tau + \rho < 1$  のケースを考えているが、下に凸の増加関数となる  $0 < \tau + \rho < \frac{1}{2}$  のケースでも、全く同様に考えることができる。

### 2.3 リサイクル資源の需要量・供給量への影響

本節では、家計の不法投棄に対する摘発確率  $\pi$  の上昇が、リサイクル資源の需要量  $r_D^*$  と供給量  $r_S^*$  にどのような影響を及ぼすかに注目する。

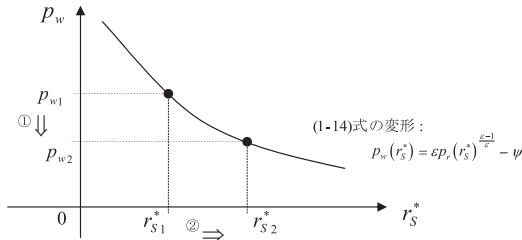
まず、家計の行動の1階の条件として求められた(1-7)式に注目すると、摘発確率  $\pi$  が上昇することによって、財の需要量  $x_D^*$  は減少することがわかる。<sup>11)</sup> この  $x_D^*$  の減少により、廃棄物の価格  $p_w$  も下落することがわかる(【図7】)。<sup>12)</sup> 次に、リサイクル業者の1階の条件として求められた(1-14)式に注目すると、廃棄物の価格  $p_w$  の下落により、リサイクル資源の供給量  $r_S^*$  は増加することがわかる(【図8】)。<sup>13)</sup>

【図7】 財の需要量  $x_D^*$  の減少による影響 ⇒ 廃棄物の価格  $p_w$  は下落



【図8】 廃棄物の価格  $p_w$  の下落による影響

⇒ リサイクル資源の供給量  $r_S^*$  は増加



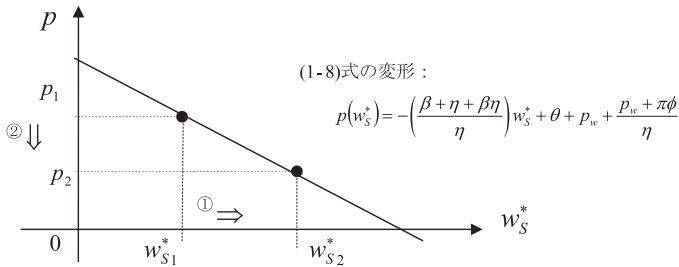
11) (1-7) 式を  $\pi$  で偏微分すると、 $\frac{\partial x_D^*}{\partial \pi} = -\frac{\beta\phi}{\beta + \eta + \beta\eta} < 0$ .

12) (1-7) 式より、 $p_w(x_D^*) = \left(\frac{\beta + \eta + \beta\eta}{\eta}\right)x_D^* + \frac{\beta\pi\phi - (\beta + \eta)(\theta - p)}{\eta}$  となるので、 $\frac{\partial p_w(x_D^*)}{\partial x_D^*} = \left(\frac{\beta + \eta + \beta\eta}{\eta}\right) > 0$ .

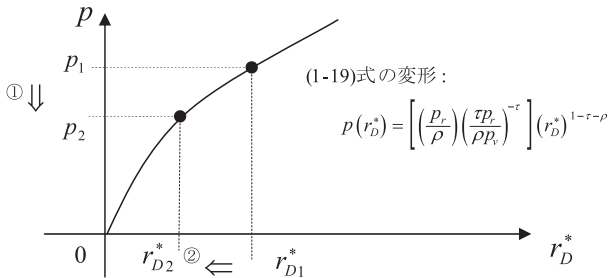
13) (1-14) 式より、 $p_w(r_S^*) = \epsilon p_r(r_S^*)^{\frac{\epsilon-1}{\epsilon}} - \psi$  となるので、 $\frac{\partial p_w}{\partial r_S^*} = (\epsilon - 1)p_r(r_S^*)^{\frac{\epsilon-1}{\epsilon}-1} < 0$ .  
また、 $\frac{\partial^2 p_w}{\partial (r_S^*)^2} = \left(\frac{\epsilon-1}{\epsilon} - 1\right)(\epsilon - 1)p_r(r_S^*)^{\frac{\epsilon-1}{\epsilon}-2} > 0$  より、下に凸の減少関数。

次に、家計の行動の 1 階の条件として求められた (1-8) 式に注目すると、家計の不法投棄に対する摘発確率  $\pi$  が上昇することによって、廃棄物の供給量  $w_S^*$  が増加することがわかる。<sup>14)</sup> この  $w_S^*$  の増加により、財の価格  $p$  も下落することがわかる (【図 9】)。<sup>15)</sup> 次に、企業の行動の 1 階の条件から導出された (1-19) 式に注目すると、財の価格  $p$  の下落により、リサイクル資源の需要量  $r_D^*$  は減少することがわかる (【図 10】)。<sup>16)</sup>

【図 9】 廃棄物の供給量  $w_S^*$  の増加による影響  $\Rightarrow$  財の価格  $p$  は下落



【図 10】 財の価格  $p$  の下落による影響  $\Rightarrow$  リサイクル資源の需要量  $r_D^*$  は減少



14) (1-8) 式を  $\pi$  で偏微分すると、 $\frac{\partial w_S^*}{\partial \pi} = \frac{\phi}{\beta + \eta + \beta\eta} > 0$ 。

15) (1-8) 式より、 $p(w_S^*) = -\left(\frac{\beta + \eta + \beta\eta}{\eta}\right)w_S^* + \theta + p_w + \frac{p_w + \pi\phi}{\eta}$  となるので、 $\frac{\partial p(w_S^*)}{\partial w_S^*} = -\left(\frac{\beta + \eta + \beta\eta}{\eta}\right) < 0$ 。

16) (1-19) 式より、 $p(r_D^*) = \left[\left(\frac{p_r}{\rho}\right) \left(\frac{\tau p_r}{\rho p_v}\right)^{-\tau}\right] (r_D^*)^{1-\tau-\rho}$  となるので、 $\frac{\partial p}{\partial r_D^*} = (1 - \tau - \rho) \left[\left(\frac{p_r}{\rho}\right) \left(\frac{\tau p_r}{\rho p_v}\right)^{-\tau}\right] (r_D^*)^{-(\tau+\rho)} > 0$ 。

また、 $\frac{\partial^2 p}{\partial (r_D^*)^2} = -(\tau + \rho)(1 - \tau - \rho) \left[\left(\frac{p_r}{\rho}\right) \left(\frac{\tau p_r}{\rho p_v}\right)^{-\tau}\right] (r_D^*)^{-(\tau+\rho+1)} < 0$  より、上に凸の増加関数。

【図7】～【図10】に関してまとめると、以下のようになる。家計の不法投棄に対する摘発確率  $\pi$  が上昇すると、その直接的な影響は家計へ及び、財の需要量  $x_D^*$  は減少し、廃棄物の供給量  $w_S^*$  は増加する。このとき、 $x_D^*$  の減少は、廃棄物の価格  $p_w$  の下落を通じて（【図7】）、リサイクル資源の供給量  $r_S^*$  の増加をもたらす（【図8】）。一方、 $w_S^*$  の増加は、財の価格  $p$  の下落を通じて（【図9】）、リサイクル資源の需要量  $r_D^*$  の減少をもたらす（【図10】）。

## 2.4 リサイクル資源市場への影響

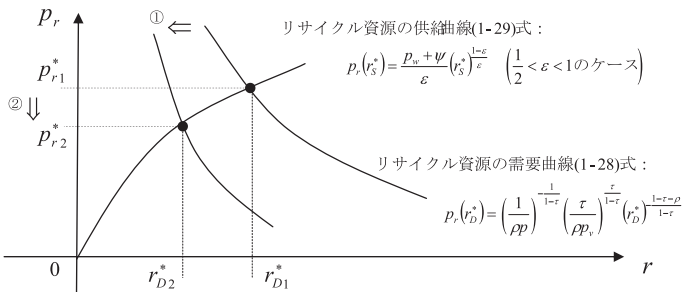
### （リサイクル資源の需要曲線・供給曲線のシフト）

本節では、家計の不法投棄に対する摘発確率  $\pi$  の上昇が、リサイクル資源市場へ与える影響について、リサイクル資源の需要曲線および供給曲線のシフトという観点から考える。

まずは、リサイクル資源の需要曲線のシフトから見ていく。2.3 で明らかにされたように、摘発確率  $\pi$  の上昇によって、リサイクル資源の需要量  $r_D^*$  は減少する。また、財の価格  $p$  の下落という、リサイクル資源市場にとっては外生的な変化が生じることによって、リサイクル資源の需要曲線は、【図11】のようにシフトすると考えることができる。その結果、均衡におけるリサイクル資源の価格  $p_r^*$  は下落することがわかる。

【図11】 リサイクル資源の需要曲線のシフトによる、リサイクル資源市場への影響<sup>17)</sup>

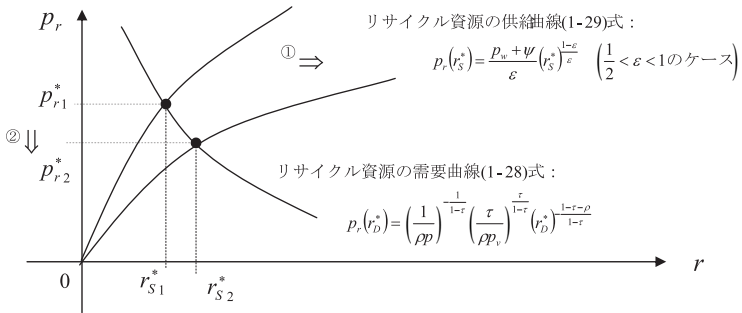
⇒ 均衡におけるリサイクル資源の価格  $p_r^*$  は下落



17) リサイクル資源の供給曲線に関して、【図11】では、上に凸の増加関数となる  $\frac{1}{2} < \varepsilon < 1$  のケースを考えているが、下に凸の増加関数となる  $0 < \varepsilon < \frac{1}{2}$  のケースでも、全く同様に考えることができる。

次に、リサイクル資源の供給曲線のシフトを見ていく。2.3 で明らかにされたように、摘発確率  $\pi$  の上昇によって、リサイクル資源の供給量  $r_S^*$  は増加する。また、廃棄物の価格  $p_w$  の下落という、リサイクル資源市場にとっては外生的な変化が生じることによって、リサイクル資源の供給曲線は、【図 12】のようにシフトし、均衡におけるリサイクル資源の価格  $p_r^*$  は下落することがわかる。

【図 12】リサイクル資源の供給曲線のシフトによる、リサイクル資源市場への影響<sup>18)</sup>  
 ⇒ 均衡におけるリサイクル資源の価格  $p_r^*$  は下落



## 2.5 比較静学分析のメカニズムのまとめ

最後に、2.2～2.4 をまとめると、以下のようになる。

不法投棄の摘発確率  $\pi$  が上昇すると、その直接的な影響は家計へ及ぶ。財市場においては、財の需要曲線自体のシフトによって、均衡における財の価格  $p^*$  は下落し（【図 5】）、廃棄物市場においては、廃棄物の供給曲線自体のシフトによって、均衡における廃棄物の価格  $p_w^*$  は下落する（【図 6】）。

また、摘発確率  $\pi$  の上昇は、財の需要量  $x_D^*$  の減少と廃棄物の供給量  $w_S^*$  の増加をもたらす。前者の  $x_D^*$  の減少は、廃棄物の価格  $p_w$  の下落をもたらす

18) リサイクル資源の供給曲線に関して、【図 12】では、上に凸の増加関数となる  $\frac{1}{2} < \varepsilon < 1$  のケースを考えているが、下に凸の増加関数となる  $0 < \varepsilon < \frac{1}{2}$  のケースでも、全く同様に考えることができる。

（【図7】）、その結果、リサイクル資源の供給量  $r_S^*$  を増加させる（【図8】）。一方、後者の  $w_S^*$  の増加は、財の価格  $p$  の下落をもたらす（【図9】）、その結果、リサイクル資源の需要量  $r_D^*$  を減少させる（【図10】）。

以上の結果を念頭に置きつつ、今度は、リサイクル資源市場に注目してみると、財の価格  $p$  の下落、およびリサイクル資源の需要量  $r_D^*$  の減少により、リサイクル資源の需要曲線自体のシフトが生じ、均衡におけるリサイクル資源の価格  $p_r^*$  は下落する（【図11】）。一方、廃棄物の価格  $p_w$  の下落、およびリサイクル資源の供給量  $r_S^*$  の増加により、リサイクル資源の供給曲線自体のシフトが起こり、均衡におけるリサイクル資源の価格  $p_r^*$  は下落する（【図12】）。

以上を表にまとめると、以下のようになる。

【表1】比較静学分析のメカニズムのまとめ

均衡価格	$\pi \uparrow \Rightarrow x_D^* \downarrow$	$\pi \uparrow \Rightarrow w_S^* \uparrow$
$p^*$	(財市場への影響) $x_D^* \downarrow$ を通じて、 $p^* \downarrow$	
$p_w^*$		(廃棄物市場への影響) $w_S^* \uparrow$ を通じて、 $p_w^* \downarrow$
$p_r^*$	(リサイクル資源市場への影響) $r_S^* \uparrow$ を通じて、 $p_r^* \downarrow$	(リサイクル資源市場への影響) $r_D^* \downarrow$ を通じて、 $p_r^* \downarrow$

## おわりに

本稿では、家計、リサイクル業者、企業という3つの主体を設定し、各主体の主体均衡から、財市場、廃棄物市場、リサイクル市場における需要曲線および供給曲線を導出し、需給が均衡する取引数量と価格を求めた。そして、各市場の均衡式を用い、操作できる政策変数の例として、家計の不法投棄に対する摘発確率に注目し、摘発確率が変化したときに、各市場における均衡価格がどのように変化するかについて、比較静学分析を行った。その結果、摘発確率を上昇させることによって、家計の不法投棄に対する取り締まりを強化すると、

均衡における価格は 3 市場において下落する結果となった。すなわち、均衡における財の価格、廃棄物の価格、リサイクル資源の価格がすべて下落することが示された。さらに、これらの価格が下落するメカニズムについて、グラフをもとに考察した。

本稿では、財市場、廃棄物市場、リサイクル資源市場という 3 市場モデルに関して、その基本となる枠組みを示すにとどまってしまった。したがって、今後は、この基本モデルをもとに、条件や仮定を変更することによって、モデルの拡張を試みたい。本モデルでは、完全競争を仮定しているが、例えば、リサイクル業者が独占であるケースを考えることもできる。また、操作できる政策変数の例として、本モデルで注目したのは、家計の不法投棄に対する摘発確率のみであったが、バージン資源に対する課税や、リサイクル資源に対する補助金など、廃棄物処理やリサイクルに関連する政策手段は、その他にもさまざま存在している。今後は、そういったさまざまな政策手段についても比較静学分析を行い、比較検討を行っていききたい。

さらに、家電リサイクル法、グリーン家電エコポイント制度といった法制度と関連づけて分析することも、今後の課題の 1 つである。本稿では、「容器包装リサイクル法」を念頭に置き、ガラスびんなどのリサイクルを考慮したモデルを設定した。しかし、例えば、家電リサイクル法などの場合、家計から家電メーカーに廃家電が運ばれる際、家計と家電メーカーとの仲介役として、家電小売店がかかわってくる。しかし、その家電小売店の役割は、廃家電の引き渡し業務であり、廃家電のリサイクルおよび新たな家電の生産は、家電メーカーが行う。したがって、家電リサイクル法を念頭に置いてモデルを設定する場合、リサイクル市場は存在せず、家電メーカーがリサイクル業者と財生産者の 2 役を兼ねているということになる。以上のように、法制度、あるいは廃棄物の種類によって、モデルを若干変更しつつ、分析結果の比較検討を行っていききたい。



### 主要参考文献

- [1] C. Choe and I. Fraser (1999) “An Economic Analysis of Household Waste Management”, ‘*Journal of Environmental Economics and Management*’, Vol.38(2), pp.234-246
- [2] D. Fullerton and T.C. Kinnaman (1995) , “Garbage, Recycling, and Illicit Burning or Dumping”, *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol.29(1), pp.78-91.
- [3] D. Fullerton and W. Wu (1998) , “Policies for Green Design”, *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol.36(2), pp.131-148.
- [4] K. Palmer and M. Walls (1997), “Optimal Policies for Solid Waste Disposal: Taxes, Subsidies, and Standards”, *Journal of Public Economics*, Vol.65(2), pp.193-205.
- [5] 斧田真理子 (2007) 「廃棄物処理問題に関する政策分析—不法投棄の最適摘発確率に関する比較静学分析—」、『関西学院経済学研究』第 38 号、pp.241-262.
- [6] 斧田真理子 (2008) 「「完全リサイクル経済」の特性について」、『関西学院経済学研究』第 39 号、pp.1-20.
- [7] 細江守紀 (2005) 「不法投棄、リサイクル、およびモニタリング」、『情報とインセンティブの経済学』第 12 章、九州大学出版会
- [8] 財団法人 日本容器包装リサイクル協会 HP