

# 「完全リサイクル経済」の特性について

## On the Characteristics of “a Fully-recycling Economy”

斧 田 真理子

In this paper, I construct a static model of an economy where households may dispose of their waste illegally and one monopolistic producer manufactures the product by using recycled materials as well as virgin resources. Using such a model, I investigate the conditions under which all household waste is completely recycled. Moreover, I examine how the outcome is affected if the monopolist is financially encouraged to recycle further, or if the policing against illegal household dumping activities becomes stricter.

Mariko Onoda

JEL : Q20

キーワード : 家計ごみの処理、リサイクル、不法投棄

Key words : Household Waste Management, Recycling, Illegal Dumping

### 1. はじめに

廃棄物処理やリサイクルに関しては、さまざまな政策手段が存在しており、資源の効率的配分を実現させるためには、それらの政策手段をどのように組み合わせるべきなのか、といった研究も数多くなされている。ここでは、こういった政策手段についてのレビューを簡単に行った後、本稿の構成について簡単に述べる。

廃棄物処理やリサイクルに関する政策手段のうち、家計に対する政策としては、ごみ処理に対する課税、不法投棄に対する罰金などがあり、企業に対する政策としては、バージン資源の使用に対する課税、リサイクル資源の使用に対

する補助金などが挙げられる。

まず、家計のごみ処理に対する課税とは、ごみ袋 1 単位あたり何円というように、ごみに価格づけを行うものである。本稿のモデルでは、家計がごみを企業のもとへ合法的に運んだ際に課せられるごみ収集料金と対応している。この方法は、ごみ処理の外部費用を内部化するための、もっとも直接的な方法であり、他の税手段を併用しなくても、資源の効率的配分が達成可能であるという利点を持っている。<sup>1)</sup> また、ごみ袋課税を実施するのに必要な情報は、ごみ袋 1 単位あたりの社会的費用のみであることから、比較的政策決定がしやすいとされている。しかし、家計の不法投棄が盛んな場合は、ごみが適切な場所に集まらず、課税は不可能であるといった問題点もある。特に、本稿では、家計の不法投棄の可能性を考慮しているので、不法投棄に対するペナルティーを考える必要が出てくる。そこで、期待罰金額という概念を導入し、不法投棄のパトロールを厳しくして摘発確率を上昇させたり、不法投棄が発覚した場合に課せられる罰金額を上昇させたりすることで、操作できるものとする。第 3 節では、家計ごみの収集料金や不法投棄の期待罰金額が増減した場合、どんな変化が生じるかについて分析する。

次に、企業に対する政策について見ていく。まず、バージン資源の使用に対する課税により、バージン資源の利用が減少し、通常はリサイクル資源の需要が増え、リサイクル市場が発展すると考えられる。しかし、バージン資源とリサイクル資源との間に代替性があまりない産業にとっては、必ずしもリサイクル資源の需要が増えるとは限らない。また、両資源の技術的代替率の情報を入手するのは難しく、政策決定もかなり困難である。<sup>2)</sup> さらに、バージン資源への課税は、経済全体での生産と消費を減少させる可能性があるため、最終財に対する補助金など他の政策手段との組み合わせで用いる必要がある。一方、リサイクル資源の使用に対する補助金は、リサイクルが促進されるという利点を持つ反面、生産と消費、さらには廃棄物が過剰になってしまう、という問題点もある。したがって、リサイクルへの補助金は、消費への課税（前払いの処

1) この点に関しては、Fullerton and Kinnaman (1995) 参照のこと。

2) この点に関しては、Dinan (1993) 参照のこと。

理費用)などと組み合わせて用いられるべきである。リサイクルへの補助金によって処理時のリサイクルを促進し、消費への課税によって廃棄物の減少を促進することになる。<sup>3)</sup>

本稿のモデルにおいて、前者のバージン資源の使用に対する課税と関連するのは、バージン資源1単位あたりの購入費用であり、課税されると購入費用は増加することになる。また、後者のリサイクル資源の使用に対する補助金と関連性があるのは、リサイクル1単位あたりの資源化費用である。補助金が与えられると、それを資源化費用に充てることになるので、補助金は資源化費用の減少につながる。さらに、本稿のモデルでは、生産にバージン資源を使用することの生産性パラメータと、リサイクル資源を使用することの生産性パラメータを反映した生産関数を設定している。第3節の分析では、バージン資源およびリサイクル資源に関連する費用、あるいは生産性パラメータが増減した場合、どんな変化が生じるかについて分析する。

ここで、本稿の構成を簡単に述べることにする。第2節では、「ごみとリサイクルの概念図」を説明した後、モデルを用いて家計および企業の最適化行動を示し、そういった最適化行動のもとでの、家計ごみの総量のグラフを導出する。続く第3節では、規模に関して収穫逓減型の企業を仮定した上で、合法処理によって家計から運ばれてきたごみすべてがリサイクルされる、という「完全リサイクル経済」に注目して分析を行う。特に、生産面における企業の変化、あるいは不法投棄の取り締まりに関する社会の変化が生じた場合、その変化によって、完全リサイクル水準がどのように変化するかを、グラフのシフトを用いて考察する。

## 2. モデル

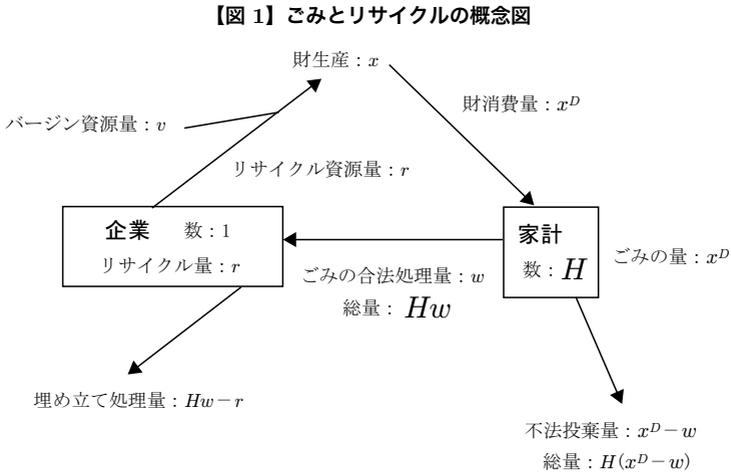
ここでは、「ごみとリサイクルの概念図」について説明した後、実際にモデルを示し、家計および企業の最適化行動を見ていき、家計および企業が最適化行動した場合の、家計ごみの総量のグラフを導出する。

---

3) この点に関しては、Palmer et al. (1997) 参照のこと。

## 2.1 ごみ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「ごみ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。



単純化のために、家計と企業という2つの経済主体を考える。家計の数は  $H$  とするが、企業数は1つ、すなわち独占企業を仮定したモデルとする。

家計は、家計ごみを生じさせる財を  $x^D$  単位消費し、その結果発生するごみも、 $x^D$  単位であると仮定する。この  $x^D$  単位のごみの処理に関して、家計には2つの選択肢があるとする。1つめは合法処理で、2つめは不法投棄である。家計ごみ  $x^D$  単位のうち、合法処理される量は  $w$ 、残りの  $x^D - w$  は不法投棄される量とする。本モデルでは、家計の数を  $H$  としているので、合法処理によって企業のもとに集められるごみの総量は  $Hw$  となる。

一方、企業は、財の生産とリサイクルとを同時に行うものとする。財の生産量を  $x$  とし、企業が生産を行う際には2つの選択肢があるとする。1つはバージン資源を用いて生産を行うというものであり、このときのバージン資源購入量は  $v$  とする。もう1つは、家計から運ばれたごみの一部あるいは全部をリサイクルし、その結果生み出されたりサイクル資源を用いて生産を行うものであ

る。ここで、リサイクル量＝リサイクル資源量を  $r$  とすると、企業は、家計の合法処理によって集められた家計ごみの総量  $Hw$  のうち、 $r$  だけリサイクルを行ってリサイクル資源を生み出すことになる。なお、第3節では、家計から運ばれてきたごみすべてがリサイクルされるケース（「完全リサイクル経済」と呼ぶ。）、すなわち  $Hw = r$  となるケースに注目する。ちなみに、家計から運ばれてきたごみのうち、リサイクルできなかった残り  $Hw - r$  に関しては、企業が埋め立て処理を行うものとしているが、このときの埋め立て費用はゼロと仮定している。

## 2.2 家計の行動

まず、家計の行動を見ていく。前述したように、家計は、 $x^D$  単位のごみ処理に関して、合法処理か不法投棄かという2つの選択肢を持ち、合法処理される量は  $w$ 、残りの  $x^D - w$  は不法投棄される量である。ここで、合法処理というのは、家計ごみを企業のもとへ運ぶことである。その際、家計は、ごみ1単位につき  $\alpha$  の収集料金を企業に支払うこととする。また、家計ごみの量が増えるにつれて、運搬する際の労力が重くなると考え、そういった費用を  $\frac{\beta}{2}w^2$  と表すことにする。したがって、合法処理にかかる費用の合計は、 $\alpha w + \frac{\beta}{2}w^2$  と表すことができる。一方、不法投棄とは、家計ごみをこっそりと山奥などに投げ捨てることである。しかし現行の法律では、不法投棄が見つかった場合には罰金が課せられるので、不法投棄をする家計に対しては、期待罰金額が課せられているものとし、不法投棄1単位あたりの期待罰金額を  $\pi\phi$  で表す。ここで、 $\pi$  は不法投棄が摘発される確率であり、 $0 \leq \pi \leq 1$  とする。 $\phi$  は不法投棄1単位あたりの罰金であり、 $\phi > 0$  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、不法投棄の物理的および心理的費用として  $\frac{\eta}{2}(x - w)^2$  を加え、不法投棄にかかる費用の合計は、 $\pi\phi(x - w) + \frac{\eta}{2}(x - w)^2$  と表すことにする。以上より、家計によるごみの期待処理費用  $C(x^D, w)$  は、(1-1) 式のように表すことができる。

$$C(x^D, w) = \left( \alpha w + \frac{\beta}{2}w^2 \right) + \left\{ \pi\phi(x^D - w) + \frac{\eta}{2}(x^D - w)^2 \right\} \quad (1-1)$$

また、家計は、以下の制約条件のもとで、効用を最大化するものとする。

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

$$\text{s.t.} \quad I = px^D + z + C(x^D, w) \quad (1-3)$$

$$x^D \geq w \quad (1-4)$$

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 (1-2) 式は代表的な家計の効用関数を表しており、 $\theta$  は家計ごみを生じさせる財  $x$  に対する嗜好性を表すものとする。 $z$  は家計ごみ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 とする。また、限界効用逡減の法則 ( $U' > 0$ ,  $U'' < 0$ ) が成立していなければならないので、 $U' = \theta - x > 0$ ,  $U'' = -1 (< 0)$ 、つまり  $x < \theta$  を仮定する。

次に、制約条件 (1-3)(1-4) 式に関して見ていく。(1-3) 式は所得制約であり、「所得=財に対する支払額+ごみの期待処理費用」を意味している。ただし、 $I$  は家計の所得、 $p$  は財  $x$  1 単位あたりの価格である。また、(1-4) 式において、「家計ごみの量  $\geq$  家計ごみの合法処理量」と示されているように、本稿のモデルでは、1 家計が出すごみの量と比べて合法処理量は少ないか等しいと考えている。つまり、道路に落ちている家計ごみをわざわざ拾って、企業のもとへ運ぶような個人は考えていない。

(1-1) 式を (1-3) 式に代入し、(1-2)~(1-4) 式に関してラグランジュ関数を設定すると、1 階の条件は (1-5) 式ようになる。<sup>4)</sup>

$$\frac{\partial L^H}{\partial x^D} = 0, \quad \frac{\partial L^H}{\partial w} = 0, \quad \frac{\partial L^H}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial L^H}{\partial \lambda} = 0 \quad (1-5)$$

(1-5) 式を解き、 $w$  および  $\lambda (= 1)$  を消去すると、(1-6) 式ようになる。

4) ラグランジュ関数は、以下のようになる。(λ はラグランジュ乗数)

$$L^H = \left\{ \theta x^D - \frac{1}{2} (x^D)^2 + z \right\} + \lambda \left[ I - px^D - z - \left[ \left( \alpha w + \frac{\beta}{2} w^2 \right) + \left\{ \pi \phi (x^D - w) + \frac{\eta}{2} (x^D - w)^2 \right\} \right] \right]$$

$$\theta - \left(1 + \frac{\beta\eta}{\beta + \eta}\right) x^D - p - \frac{\alpha\eta + \beta\pi\phi}{\beta + \eta} = 0 \quad (1-6)$$

$$I - px^D - z - \frac{\beta\eta}{2(\beta + \eta)} (x^D)^2 - \frac{\alpha\eta + \beta\pi\phi}{\beta + \eta} x^D + \frac{(\pi\phi - \alpha)^2}{2(\beta + \eta)} = 0 \quad (1-7)$$

(1-6) 式は、いわゆる需要関数であり、(1-7) 式は所得制約である。また、この最適化問題は、極大のための 2 階の条件を満たしている。

ここで、本稿の後半で用いる最適な合法処理量  $w^*$  について求める。家計の 1 階の条件 (1-5) 式の 1 つである  $\frac{\partial L^H}{\partial w} = 0$  を求めると、以下ようになる。

$$(\alpha + \beta w) - \left\{ \pi\phi + \eta (x^D - w) \right\} = 0 \quad (1-8)$$

(1-8) 式は、合法処理の限界費用と不法投棄の限界費用が等しくなることを意味している。この式から最適な合法処理量  $w^*$  を求めると、(1-9) 式のようになる。

$$w^* = \frac{\eta}{\beta + \eta} x^D + \frac{\pi\phi - \alpha}{\beta + \eta} \quad (1-9)$$

### 2.3 企業の行動

次に、企業の行動を見ていく。前述したように、本稿のモデルでは独占企業を考へて企業数は 1 とし、企業は財の生産とリサイクルとを同時に行うものとする。企業が財の生産を行う際には、バージン資源とリサイクル資源を用いることになる。後者のリサイクル資源は、家計から運ばれたごみをリサイクルすることによって生み出される資源である。このとき、1 単位のリサイクルを行うことによって、1 単位のリサイクル資源が生み出される、つまり、「リサイクル量＝リサイクル資源量」と仮定する。ここで、バージン資源量を  $v$ 、リサイクル資源量（＝リサイクル量）を  $r$  とし、財の生産関数を (1-10) 式のようにコブ＝ダグラス型と仮定する。

$$f(v, r) = v^\tau r^\rho \quad (v > 0, r > 0) \quad (1-10)$$

ただし、生産を行う際には、バージン資源  $v$  とリサイクル資源  $r$  の両方を必ず使用するものとする。また、 $\tau$  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、家計から運ばれてきたごみの総量  $Hw$  のうち、リサイクルできなかった残り  $Hw - r$  はすべて、埋め立て処理されると仮定する。家計から廃棄されたごみの中には、本来リサイクル資源となるはずの物質自体が破壊されているものもあると考えられる。このように、リサイクルできないものに関しては、企業は埋め立て処理せざるを得ないことになる。ただし、本稿のモデルでは、埋め立て費用はゼロと仮定している。また、企業による不法投棄の可能性は捨象している。

ここで、企業の最適化行動について見ていく。企業は、利潤を最大化するようにバージン資源量  $v$  とリサイクル資源量  $r$  を選ぶと考えられるので、企業の最適化行動は以下ようになる。

$$\underset{v,r}{Max} \quad \Pi(v,r) = p(x) \cdot x - \{p_v v + p_r r\} + \alpha w H \quad (1-11)$$

$$\text{s.t.} \quad Hw \geq r \quad (1-12)$$

(1-11) 式の  $p(x) \cdot x$  は、財  $x$  の生産から得られる収入を表している。 $p_v$  はバージン資源 1 単位あたりの購入費用、 $p_r$  はリサイクル 1 単位あたりの資源化費用であり、 $\{p_v v + p_r r\}$  全体で財  $x$  の生産に関する費用を表している。また、 $\alpha w H$  は、家計によって支払われたごみ収集料金の総額であり、これも企業の収入となる。また、企業は、家計から合法的に運ばれてきたごみの一部あるいは全部を利用して、リサイクルを行い、リサイクル資源を生み出す。したがって、(1-12) 式で示されているように、「家計ごみの総量  $\geq$  リサイクル量」という関係式が必要である。

ここで、家計の行動より、(1-6) 式は 1 家計の需要関数を表しているので、市場全体の需要関数は以下のように表される。

$$p(x) = - \left( 1 + \frac{\beta \eta}{\beta + \eta} \right) \frac{x}{H} + \left( \theta - \frac{\alpha \eta + \beta \pi \phi}{\beta + \eta} \right) \quad (1-13)$$

家計の最適な合法処理量を表している (1-9) 式についても、以下のように書き直すことができる。

$$w^*(x) = \left( \frac{\eta}{\beta + \eta} \right) \frac{x}{H} + \frac{\pi \phi - \alpha}{\beta + \eta} \quad (1-14)$$

また、独占企業を仮定しているのので、生産は (1-15) 式のように表すことができる。

$$x = f(v, r) = v^\tau r^\rho (v > 0, r > 0) \quad (1-15)$$

以上の (1-13)～(1-15) 式を用いて、(1-11)(1-12) 式の企業の最適化問題を解くと、1 階の条件は以下のようになる。<sup>5)</sup>

$$\begin{aligned} \frac{\partial L^P}{\partial v} = & \left[ \left\{ \left( \theta - \frac{\alpha\eta + \beta\pi\phi}{\beta + \eta} \right) + \frac{\eta(\alpha H + \mu)}{\beta + \eta} \right\} \right. \\ & \left. - 2 \left( 1 + \frac{\beta\eta}{\beta + \eta} \right) \frac{v^\tau r^\rho}{H} \right] \tau v^{\tau-1} r^\rho - p_v = 0 \end{aligned} \quad (1-16)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial L^P}{\partial r} = & \left[ \left\{ \left( \theta - \frac{\alpha\eta + \beta\pi\phi}{\beta + \eta} \right) + \frac{\eta(\alpha H + \mu)}{\beta + \eta} \right\} \right. \\ & \left. - 2 \left( 1 + \frac{\beta\eta}{\beta + \eta} \right) \frac{v^\tau r^\rho}{H} \right] \rho v^\tau r^{\rho-1} - p_r - \mu = 0 \end{aligned} \quad (1-17)$$

ただし、クーン・タッカーの条件より、 $\mu > 0$  のときは  $Hw = r$ 、すなわち、家計から合法的に運ばれてきたごみすべてがリサイクルされるケースであり、 $\mu = 0$  のときは  $Hw > r$ 、すなわち、家計ごみの一部がリサイクルされるケースである。

## 2.4 家計ごみの総量のグラフ

ここでは、2.3 で求めた結果を利用し、家計および企業が最適化行動した場合の、家計ごみの総量  $Hw^*(r)$  のグラフを考える。まず、(1-14) 式より、以下のように書くことができる。

$$Hw^*(v, r) = \frac{1}{\beta + \eta} \{ \eta (v^\tau r^\rho) + (\pi\phi - \alpha) H \} \quad (1-18)$$

5) (1-11)(1-12) 式より、ラグランジュ関数は、以下のようになる。 $(\mu$  はラグランジュ乗数)

$$L^P = [p(x) \cdot x - \{p_v v + p_r r\} + \alpha w H] + \mu [Hw - r]$$

ただし、(1-13)～(1-15) 式より、 $p$  も  $w$  も  $x$  も、 $v$  と  $r$  の関数なので、結局、以下のように表すことができる。

$$L^P = [p(f(v, r)) \cdot f(v, r) - \{p_v v + p_r r\} + \alpha \cdot w(x(v, r)) \cdot H] + \mu [H \cdot w(x(v, r)) - r]$$

また、企業の 1 階の条件 (1-16)(1-17) 式を解いて整理すると、(1-19) 式となる。

$$v = \frac{\tau(p_r + \mu)}{\rho p_v} r \quad (1-19)$$

さらに、(1-18)(1-19) 式をまとめると、次式のようになる。

$$Hw^*(r) = \frac{1}{\beta + \eta} \left\{ \eta \left( \frac{\tau(p_r + \mu)}{\rho p_v} \right)^\tau r^{\tau + \rho} + (\pi\phi - \alpha) H \right\} \quad (1-20)$$

ここで、(1-20) 式で表されるグラフの形状を考える。まず、(1-20) 式の切片は、次式のように表される。

$$Hw^*(0) = \frac{1}{\beta + \eta} (\pi\phi - \alpha) H \quad (1-21)$$

したがって、切片がプラス、すなわち  $\pi\phi > \alpha$  となるのは、家計の不法投棄に対する期待罰金額  $\pi\phi$  が高い、あるいは家計によって合法処理されたごみに対する収集料金  $\alpha$  が低い社会であり、「不法投棄しづらい社会」と呼ぶことにする。一方、切片がマイナス、すなわち  $\pi\phi \leq \alpha$  となるのは、不法投棄の期待罰金額  $\pi\phi$  が低い、あるいはごみの収集料金  $\alpha$  が高い社会であり、「不法投棄しやすい社会」と呼ぶ。

次に、(1-20) 式を 1 回微分、2 回微分すると、それぞれ、(1-22) 式、(1-23) 式となる。

$$\frac{\partial Hw^*(r)}{\partial r} = \frac{\eta}{\beta + \eta} (\tau + \rho) \left( \frac{\tau(p_r + \mu)}{\rho p_v} \right)^\tau r^{\tau + \rho - 1} \quad (1-22)$$

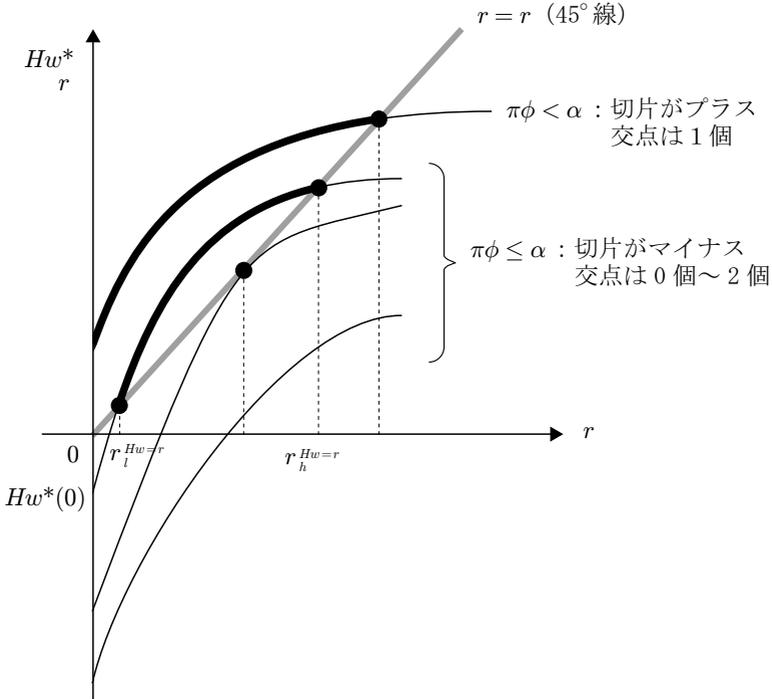
$$\frac{\partial^2 Hw^*(r)}{\partial r^2} = \frac{\eta}{\beta + \eta} (\tau + \rho) (\tau + \rho - 1) \left( \frac{\tau(p_r + \mu)}{\rho p_v} \right)^\tau r^{\tau + \rho - 2} \quad (1-23)$$

本稿では、規模に関して収穫逓減型の企業、すなわち  $\tau + \rho < 1$  となる企業を仮定する。この場合、(1-22) 式は  $\frac{\partial Hw^*(r)}{\partial r} > 0$ 、(1-23) 式は  $\frac{\partial^2 Hw^*(r)}{\partial r^2} < 0$  となるので、グラフの形状は、増加凹関数 (concave increasing) となる (【図 2】 参照)。

【図 2】 家計ごみの総量  $Hw^*(r)$  のグラフ

(規模に関して収穫逓減型 ( $\tau + \rho < 1$ ) の企業)

- ・ 黒丸：完全リサイクル経済
- ・ 太線：リサイクル可能領域



### 3. 分析

ここでは、家計から合法的に運ばれてきたごみすべてがリサイクルされる、という「完全リサイクル経済」に注目する。そして、生産面における企業の変化、あるいは不法投棄の取り締まりに関する社会の変化が生じた場合、その「完全リサイクル経済」がどのように変化するかについて分析する。

#### 3.1 交点の数

前節の最後にも記したように、規模に関して収穫逓減型 ( $\tau + \rho < 1$ ) の企業を仮定すると、家計および企業が最適化行動した場合の、家計ごみの総量

$Hw^*(r)$  のグラフは、増加凹関数となる。また、そこで述べたような「完全リサイクル経済」は、 $Hw^*(r)$  のグラフと、 $r = r$  で示される  $45^\circ$  線の交点で表される。 $Hw^*(r)$  のグラフの切片がプラスであるかマイナスであるかによって、交点の数は異なる。つまり、切片がプラス、すなわち  $\pi\phi > \alpha$  のとき、完全リサイクルとなる点は 1 個であるのに対し、切片がマイナス、すなわち  $\pi\phi \leq \alpha$  のとき、完全リサイクルとなる点は 0~2 個となる（【図 2】参照）。<sup>6)</sup>

ここで注目すべきなのは、 $\pi\phi \leq \alpha$  のようにもともと「不法投棄しやすい社会」では、「完全リサイクル経済」が 2 つ生み出される可能性があるという点である。つまり、高レベルの完全リサイクル経済（点  $r_h^{Hw=r}$ ）と、低レベルの完全リサイクル経済（点  $r_l^{Hw=r}$ ）の 2 つである。このとき、不法投棄の摘発確率  $\pi$  を上げるなどして不法投棄の期待罰金額  $\pi\phi$  を上昇させ、不法投棄の取り締まりを厳しくすると、グラフは上方にシフトするので、両者の距離が広がり、リサイクル量の差が大きくなる。不法投棄の取り締まりを強化することによって、家計から合法的に運ばれてくるごみの総量は増え、その結果、リサイクルが促進されると考えられる。しかし、その中身を見てみると、高レベルの「完全リサイクル経済」では、さらにリサイクルが増える一方、低レベルの「完全リサイクル経済」では、さらにリサイクルが減少する、といった現象が起きてしまっている。

以下では、生産面における企業の変化、あるいは不法投棄の取り締まりに関する社会の変化が生じた場合、その変化によって  $Hw^*(r)$  のグラフがどのようにシフトし、「完全リサイクル経済」となる点はどのように変化するのかについて考察する。

### 3.2 「リサイクル有利型」の企業

ここでは、生産面において、企業が「リサイクル有利型」に変化した場合を考える。企業が「リサイクル有利型」になるとは、生産面においてバージン資源が使いにくく、リサイクル資源が使いやすくなるということである。具体的

6) グラフにおいて、黒丸は「完全リサイクル経済」となる点であり、太線はリサイクル可能領域を表している。【図 3】～【図 5】においても同様である。

には、バージン資源に関する生産性パラメータ  $\tau$  が小さくなったとき、リサイクル資源に関する生産性パラメータ  $\rho$  が大きくなったとき、あるいは、バージン資源 1 単位あたりの購入費用  $p_v$  が大きくなったとき、リサイクル 1 単位あたりの費用（資源化費用） $p_r$  が小さくなったときなどが考えられる。このとき、家計および企業が最適化行動した場合の、家計ごみの総量  $Hw^*(r)$  のグラフの勾配は緩やかになる。

まず、「不法投棄しづらい社会」、すなわち  $Hw^*(r)$  のグラフの切片がプラス ( $\pi\phi > \alpha$ ) となる社会では、もともと「完全リサイクル経済」は 1 つしか存在しない。このとき、企業が生産面において「リサイクル有利型」になった場合、「完全リサイクル経済」のレベル  $r^{Hw=r}$  は下落する（【図 3】参照）。

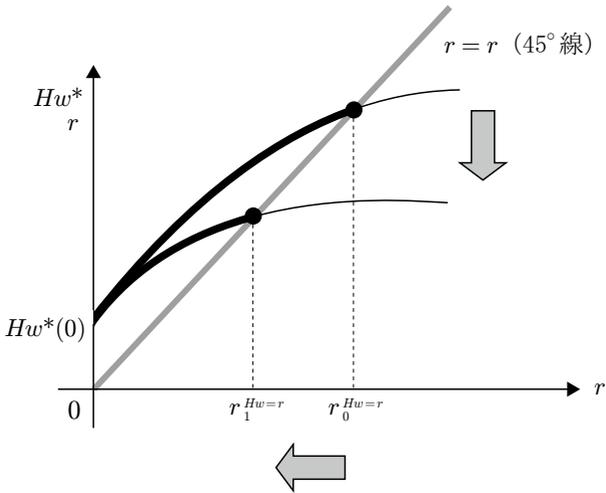
通常、「不法投棄しづらい社会」では、家計は、ごみを合法処理に回そうとするので、企業のもとへ運ばれてくる家計ごみは十分すぎるほど存在していると考えることができる。つまり、あるレベルの  $r$  までは必ずリサイクル可能であるということであり、これは、【図 3】において、太線で表される  $Hw > r$  の部分が必ず存在することからも明らかである。このような状況において、企業が「リサイクル有利型」になり、リサイクル資源をたくさん生み出せるようになったとしても、今度は、リサイクル資源の原料である家計ごみが、相対的に不足することになる。その結果、 $Hw = r$  という「完全リサイクル経済」は、以前よりも低い水準で実現されることになる。

一方、「不法投棄しやすい社会」、すなわち  $Hw^*(r)$  のグラフの切片がマイナス ( $\pi\phi \leq \alpha$ ) となる社会では、高レベル  $r_h^{Hw=r}$  と低レベル  $r_l^{Hw=r}$  という 2 つの「完全リサイクル経済」が存在している可能性がある。この時点で、企業が「リサイクル有利型」になった場合、 $r_h^{Hw=r}$  と  $r_l^{Hw=r}$  の距離が徐々に縮まり、1 つの中レベル  $r_m^{Hw=r}$  の「完全リサイクル経済」となる。さらに進むと、「完全リサイクル経済」は存在しなくなる（【図 4】参照）。

まず、高レベルと低レベルという 2 つの「完全リサイクル経済」が存在している状況からスタートする（【図 4】の 1 番上のグラフ参照）。このとき、グラフの太線で表される  $Hw > r$  の部分が多く存在しており、家計ごみが余っている状態である。このような状況において、企業がリサイクル有利型になり、グ

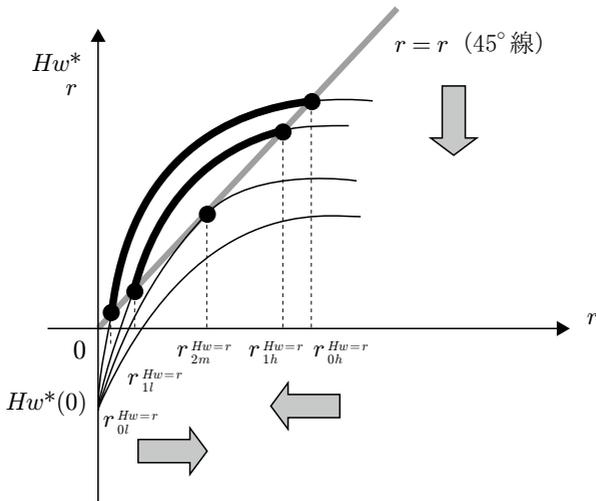
【図 3】リサイクル有利型： $\pi\phi > \alpha$  のとき

$\tau \downarrow \rho \uparrow p_v \uparrow p_r \downarrow$  となると、 $r^{Hw=r}$  は下落。



【図 4】リサイクル有利型： $\pi\phi \leq \alpha$  のとき

$\tau \downarrow \rho \uparrow p_v \uparrow p_r \downarrow$  となると、交点は 2 個  $\Rightarrow$  1 個  $\Rightarrow$  0 個



ラフが下方にシフトすると、余っていた家計ごみがリサイクル資源に生まれ変わる。また、2つの「完全リサイクル経済」のリサイクル量の格差が次第に縮小され、結局は、中レベルの「完全リサイクル経済」に落ち着く。しかし、企業がそれ以上リサイクル有利型になったとしても、今度は、家計ごみが不足しているため、リサイクル自体が不可能となる。【図3】で示されたように、「不法投棄しづらい社会」では、企業のもとへ合法的に運ばれてくる家計ごみの総量自体は十分なので、いかなる状況であっても、あるレベルの $r$ まではリサイクルは可能であった（【図3】の太線部分）。一方、【図4】のように「不法投棄しやすい社会」では、企業のもとへ運ばれる家計ごみの総量自体が不足し、リサイクル自体が不可能となることもある（【図4】の1番下のグラフ参照）。

### 3.3 「不法投棄の取り締まり強化型」の社会

ここでは、社会が、「不法投棄の取り締まり強化型」に変化した場合を考える。社会が「不法投棄の取り締まり強化型」になると、家計にとっては不法投棄しづらくなり、合法処理が増えると考えられる。具体的には、不法投棄1単位あたりの期待罰金額 $\pi\phi$ が大きくなったとき、あるいは、家計ごみ1単位あたりの収集料金 $\alpha$ が小さくなったときなどが考えられる。このとき、家計および企業が最適化行動した場合の、家計ごみの総量 $Hw^*(r)$ のグラフは、上方にシフトする。<sup>7)</sup>

まず、【図5】の1番下のグラフからスタートする。グラフの切片が極めて大きなマイナスの値をとり、不法投棄が極めて行いやすい状況では、「完全リサイクル経済」は存在しない。しかし、この社会が、「不法投棄の取り締まり強化型」に変化し、グラフが上方にシフトすると、1つの中レベルの「完全リサイクル経済」 $r_{0m}^{Hw=r}$ が存在する。その後、さらに取り締まりが強化されてグラフが上方にシフトすると、高レベル $r_{1h}^{Hw=r}$ と低レベル $r_{1l}^{Hw=r}$ という2つ

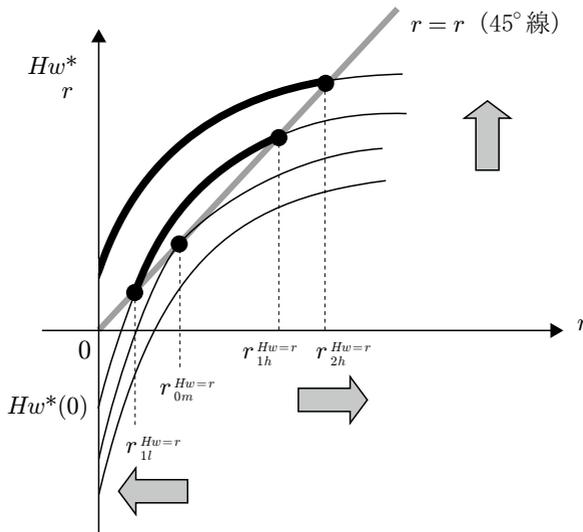
7) ここで、「不法投棄の取り締まり強化型」とは、前述の「不法投棄しづらい社会」とは、別のものである。「不法投棄しづらい社会」とは、 $Hw^*(r)$ の切片がもともとプラス( $\pi\phi > \alpha$ )である社会なのに対し、「不法投棄の取り締まり強化型」というのは、 $Hw^*(r)$ の切片が上方にシフトすることである。 $Hw^*(r)$ の切片は、 $Hw^*(0) = \frac{1}{\beta+\pi}(\pi\phi - \alpha)H$ なので、 $\pi\phi$ の上昇あるいは $\alpha$ の下落により、切片の値は大きくなり、グラフは上方にシフトする。

の「完全リサイクル経済」が存在することになる。さらに、グラフが上方にシフトし、切片が十分にプラスとなるにつれて、 $r_h^{Hw=r}$  と  $r_l^{Hw=r}$  の距離が徐々に広がり、やがて、1つの高レベル  $r_{2h}^{Hw=r}$  の「完全リサイクル経済」となる（【図 5】参照）。

【図 5】の 1 番下のグラフは、不法投棄の期待罰金額  $\pi\phi$  が、合法的に運ばれてきた家計ごみの収集料金  $\alpha$  と比べて極めて低いケース、あるいは、収集料金  $\alpha$  が、期待罰金額  $\pi\phi$  と比べて極めて高いケースである。このとき、家計は、極めて不法投棄しやすく、合法処理しづらい状況であり、企業のもとへ運ばれる家計ごみの総量は不足し、結局、リサイクルは不可能となる。このような状況において、社会が、「不法投棄の取り締まり強化型」になった場合、グラフは上方にシフトし、1つの中レベルの「完全リサイクル経済」が現れる。不法投棄が厳しく取り締まられるようになったことにより、合法的に企業のもとへ運ばれる家計ごみの総量も増えることになり、2つのレベルの「完全リサ

【図 5】不法投棄の取り締まり強化型

$\pi\phi \uparrow \alpha \downarrow$  となると、交点は 0 個  $\Rightarrow$  1 個  $\Rightarrow$  2 個  $\Rightarrow$  1 個へ



イクル経済」が存在する。その後、さらに取り締まりが強化され、切片がプラス ( $\pi\phi > \alpha$ ) となるまでグラフが上方にシフトすると、今度は、高レベルの「完全リサイクル経済」は、さらに高い水準となって存続するが、低レベルの「完全リサイクル経済」は存在しなくなる。

### 3.4 分析のまとめ

ここでは、規模に関して収穫逓減型 ( $\tau + \rho < 1$ ) の企業を仮定し、家計および企業が最適化行動した場合の、家計ごみの総量  $Hw^*(r)$  のグラフのシフトを考え、「完全リサイクル経済」となる点がどのように変化するかを見てきた。

まず、企業が、生産面において「リサイクル有利型」になった場合、もともと「不法投棄しづらい社会 ( $\pi\phi > \alpha$ )」では、1つの高レベルの「完全リサイクル経済」から、1つの低レベルの「完全リサイクル経済」への変化が生じる。一方、もともと「不法投棄しやすい社会 ( $\pi\phi \leq \alpha$ )」では、高レベルと低レベルという2つの「完全リサイクル経済」から、1つの中レベルの「完全リサイクル経済」へと変化し、やがて「完全リサイクル経済」は存在しなくなる。

次に、社会が、「不法投棄の取り締まり強化型」になった場合の変化を分析した。極めて不法投棄しやすく、「完全リサイクル経済」が存在しないような社会において、不法投棄の取り締まりが厳しくなった場合、まずは1つの中レベルの「完全リサイクル経済」が現れ、その後は、高レベルと低レベルという2つの「完全リサイクル経済」へと変化する。さらに取り締まりが強化されると、1つの高レベルの「完全リサイクル経済」のみが存続することになる。

ここで、「完全リサイクル経済」の水準という点に注目し、とにかく高レベルの「完全リサイクル経済」の実現可能性を考えるのなら、もともと「不法投棄しづらい社会」であるか、「不法投棄しやすい社会」であるかにかかわらず、企業は、生産面において「リサイクル不利型」に移行すべきである。また、社会が、「不法投棄の取り締まり強化型」に移行すればするほど、高レベルの「完全リサイクル経済」が実現される可能性も増えてくる。ただし、いずれの場合も、低レベルの「完全リサイクル経済」が同時に存在する可能性もあり、リサイクル量の格差という面では問題もある。

次に、高レベルと低レベルという2つの「完全リサイクル経済」が存在する場合、両者のリサイクル量の差という点に注目して見ていく。2つのレベルの「完全リサイクル経済」が存在するのは、もともと「不法投棄しやすい社会」、すなわちグラフの切片がマイナス ( $\pi\phi \leq \alpha$ ) となる社会においてのみである。グラフの切片がプラス ( $\pi\phi > \alpha$ ) となる社会では、「完全リサイクル経済」は1つしか存在しなかった。2つの「完全リサイクル経済」が存在する状況のもとでは、生産面において企業が「リサイクル有利型」に移行すればするほど、あるいは、「不法投棄の取り締まり緩和型」に社会が移行すればするほど、両者のリサイクル量の差は、徐々に縮まっていくことになる。つまり、もともと「不法投棄しやすい社会」において、リサイクル量の格差が小さい2つの「完全リサイクル経済」を実現するためには、リサイクル有利型の企業を目指したり、あるいは不法投棄の取り締まりをさらに緩和したりする必要があることがわかる。

#### 4. おわりに

第1節でも述べたように、廃棄物処理やリサイクルに関しては、さまざまな政策手段が存在しており、それらの政策手段をどのように組み合わせることによって、資源の効率的配分が実現可能なのか、といった研究も数多くなされている。本稿では、家計および企業が最適化行動した場合の、家計ごみの総量  $Hw^*(r)$  のグラフを描き、家計から合法的に運ばれてきたごみすべてがリサイクルされる、という「完全リサイクル経済」に注目した。

第3節の分析では、生産面における企業の変化、あるいは不法投棄の取り締まりに関する社会の変化が生じた場合、その変化によって  $Hw^*(r)$  のグラフがどのようにシフトし、「完全リサイクル経済」がどのように変化するのかを分析してきた。まず、もともと「不法投棄しづらい社会 ( $\pi\phi > \alpha$ )」では、「完全リサイクル経済」は1つしか存在していない。こういった状況において、企業が、生産面において「リサイクル有利型」になった場合、「完全リサイクル経済」の水準は、高レベルから低レベルへと変化する。一方、もともと「不法投棄しやすい社会 ( $\pi\phi \leq \alpha$ )」において、企業が「リサイクル有利型」になっ

た場合、はじめは高レベルと低レベルという2つの「完全リサイクル経済」が存在しているが、徐々に両者のリサイクル量の格差が縮まり、1つの中レベルへと変化する。その後もさらに、企業が「リサイクル有利型」になっていくと、「完全リサイクル経済」は、やがて存在しなくなる。次に、極めて不法投棄しやすく、「完全リサイクル経済」が存在しないような社会が、「不法投棄の取り締まり強化型」に移行した場合、まずは、1つの中レベルの「完全リサイクル経済」が現れる。その後、高レベルと低レベルという2つが現れ、両者のリサイクル量の格差が次第に広がっていく。さらに取り締まりが厳しくなると、高レベルの「完全リサイクル経済」のみが存続することになる。

最後に、高レベルの「完全リサイクル経済」の実現可能性、そして2つの「完全リサイクル経済」が存在する場合のリサイクル量の格差是正、という観点からまとめておく。もともと「不法投棄しづらい社会 ( $\pi\phi > \alpha$ )」であるか、「不法投棄しやすい社会 ( $\pi\phi \leq \alpha$ )」であるかにかかわらず、企業としては「リサイクル不利型」を、社会としては「不法投棄の取り締まり強化型」を目指すことにより、高レベルの「完全リサイクル経済」が実現可能である。また、もともと「不法投棄しやすい社会 ( $\pi\phi \leq \alpha$ )」において、高レベルと低レベルという2つの「完全リサイクル経済」が存在している場合、企業としては「リサイクル有利型」を、社会としては「不法投棄の取り締まり緩和型」を目指すことにより、リサイクル量の格差を縮めることが可能となる。

今後の課題としては、以下のようなことが挙げられる。本稿では、家計に対する政策として、家計ごみの収集料金  $\alpha$  と、不法投棄に対する期待罰金額  $\pi\phi$  に注目してきたが、その他にもさまざまな政策が存在する。たとえば、デポジット・リファンド制度は、家計が製品を購入する際に販売価格に上乘せされたデポジットを支払うが、使用済みの製品を返却しに行くと、リファンドが払い戻される、という制度である。この制度は、製品のリサイクル可能性を促進するという利点を持つだけでなく、政策実施に必要な情報の入手がそれほど困難ではなく、行政コストも安くすることが可能であるため、多くの研究で高く評価されている。そこで、今後は、本稿のモデルにこの制度を組み込み、さらに分析を行いたいと考えている。

また、本稿のモデルでは、リサイクルと財生産を同時に行う企業を仮定しているが、より現実に近づけるために、リサイクル業者という主体を新たに導入してみることも、今後の課題の 1 つである。

#### 参考文献

- [1] Dinan Terry M. (1993) “Economic Efficiency Effects of Alternative Policies for Reducing Waste Disposal”, *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol.25(3), pp.242-256
- [2] Fullerton, Don and Thomas C. Kinnaman (1995), “Garbage, Recycling, and Illicit Burning or Dumping”, *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol.29(1), pp.78-91.
- [3] Fullerton, Don and Thomas C. Kinnaman (1996), “Household Responses to Pricing Garbage by the Bag”, *American Economic Review*, Vol.86(4), pp.971-984.
- [4] Fullerton, Don and Wenbo Wu (1998), “Policies for Green Design”, *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol.36(2), pp.131-148.
- [5] Palmer, Karen, Hilary Sigman, and Margaret Walls (1997), “The Cost of Reducing Municipal Solid Waste”, *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol.33(2), pp.128-150.
- [6] Palmer, Karen and Margaret Walls (1997), “Optimal Policies for Solid Waste Disposal: Taxes, Subsidies, and Standards”, *Journal of Public Economics*, Vol.65(2), pp.193-205.
- [7] Thomas C. Kinnaman and Don Fullerton (1999), “The economics residential solid waste management”, *National Bureau of Economic research, Working Paper 7236*, Chapter 3.
- [8] 斧田真理子 (2007) 「廃棄物処理問題に関する政策分析」、『関西学院経済学研究』第 38 号、pp.241-262
- [9] 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