

ごみの分別行動とリサイクルの経済分析*

福山博文[†] (鹿児島大学法文学部)

伊ヶ崎大理^{††} (熊本学園大学経済学部)

1. はじめに

近年、ドイツを始めとした欧州諸国において、生産者に対する製品の物理的および経済的な責任を消費後まで拡大する「拡大生産者責任 (Extended Producer Responsibility)」の原則が普及しており、わが国においても、「容器包装リサイクル法」や「家電リサイクル法」などにおいてその原則が導入されている。このように財の生産者である企業の環境問題に対する責任は年々増しており、企業は環境に配慮した製品を設計することが社会に求められている。したがって、企業による財生産量の決定問題だけでなく、その財の環境配慮レベルをどうすべきかについても併せて考えることは非常に重要である。

また、高度経済成長期以来、家庭から排出されるごみは多種多様化し、近年のリサイクルの重要性や最終処分場の減少に伴うごみ減量化の必要性が認識されるようになり、全国的に古紙や食品トレイなどのプラスチック類、缶・ペットボトルなどの分別回収が進んでいる。鹿児島県大崎町では現在28項目の分別回収が行われており、平成10年と比べ80%のごみ削減を実現している。しかしながら、ごみの分別回収の細分化はリサイクルの促進、ごみの減量化に繋がる一方で、家計への負担を大きくする。ごみの分別が複雑になればなるほど、不適切なごみの分別がなされる可能性が高まるであろう。ゆえに、家計のごみ分別による不効用をモデル化し、家計のごみの分別行動を分析することは興味深い。

以上のことから、本稿の第1の分析目的は、家計のごみの分別行動と企業の環境配慮型の製品設計行動をモデル化し、行政のごみ処理政策が企業の環境配慮レベルや家計のごみ分別努力レベル、ヴァージン資源採取レベルに与える影響について考察を行っている点である。また、第2の目的は、リサイクル市場が成立するための条件を導出し、最適なごみ処理政策とはどのようなものかを明らかにしている点である。

本稿は、Choe and Fraser (1999) によって構築されたモデルをベースとして、企業による「ごみの種類」(可燃ごみあるいは資源ごみ)の決定問題、家計によるごみの分別行動、資源ごみのリサイクル市場成立条件の3つの要素を新たに導入することで拡張を試みている。企業の環境配慮レベ

* 本研究は、平成20年度科学研究費補助金(基盤研究(C)、課題番号 20530203)および(若手研究(B)、課題番号 19730179)および熊本学園大学付属産業経営研究所研究助成による研究成果の一部である。

[†] e-mail:fukuyama@leh.kagoshima-u.ac.jp

^{††} e-mail:ikazaki@kumagaku.ac.jp

ルの決定問題を取り扱った研究はすでに数多く存在しており、財の消費後に発生する「ごみの量」を減少させるような企業の環境デザイン投資を取り扱ったものとして、Fullerton and Kinnaman (1995), Fullerton and Wu (1998), そして Choe and Fraser (1999) が挙げられる。また、財の消費後に発生する「ごみのリサイクルのしやすさ」に影響を及ぼすような企業の環境デザイン投資を取り扱ったものとして、Fullerton and Kinnaman (1995), Calcott and Walls (2000), そして Eichner and Pethig (2001) が挙げられる。これらの先行研究に対し、本稿は、企業の環境デザイン投資が「ごみの種類」に影響を及ぼすケースを考えている。

また、本稿では、家計の財消費後の行動として Fullerton and Kinnaman (1995) や Choe and Fraser (1999) が考察してきた不法投棄行動ではなく、家計によるごみの分別行動を分析している。さらに、適切に分別が行われ回収された資源ごみのリサイクルの可能性についても言及しており、リサイクル市場が成立するための条件を導出している。これまでの先行研究では、リサイクル市場は必ず成立することを前提として議論されていたが、リサイクル製品への需要の低さや高いリサイクル・コストにより、リサイクル市場は必ずしも成立するとは限らないため、リサイクル市場の成立条件を明らかにすることは興味深いと言える。

本稿の構成は以下ようになる。まず、第2節においてモデルの構造について説明を行い、市場均衡条件を導出する。次に、第3節において、社会的最適条件を導出し市場均衡条件との比較を行う。第4節では、新たな政策を追加し市場均衡条件を社会的最適条件に一致させることができることを示し、最適なごみ処理政策を導出し政策提言を行う。最後に、第5節において、分析のまとめと今後の課題について言及する。

2 モデル

本稿で取り扱うモデルには、家計、企業X（ヴァージン資源を使って財を作る企業）、企業Y（リサイクル資源を使って財を作る企業）、ヴァージン資源採掘業者、リサイクル業者、そして政府の6主体が存在している。

2.1. 企業X（ヴァージン資源を利用する企業）

企業は財を生産・供給する際に生産要素を投入するが、ここでは、生産要素としてヴァージン資源を投入する企業Xを考える。企業Xの生産関数を $x=f(v)$ とおき、 v をヴァージン資源投入量、 x を財の生産量とする。ここで、 $f' > 0$, $f'' < 0$ を仮定する。

また、企業Xはヴァージン資源の投入量を決めると同時に、財が消費された後に発生するごみの種類に影響を及ぼす環境デザイン投資水準を決める。環境デザイン投資水準を α ($0 \leq \alpha \leq 1$) とおくと、可燃ごみの発生量は $(1-\alpha)x$ 、資源ごみの発生量は αx で表されるものとする。すなわち、 x を固定したとき、 α を高めると資源ごみの量が増加し、可燃ごみの量が減少することを意味する。ここで、環境デザイン投資コストとして財1単位あたり $\theta(\alpha)$ のコストがかかるものとする。なお、

α を高めると投資コストが上昇するものとする ($\theta' > 0$, $\theta'' > 0$).

ヴァージン資源の投入に対する課税率を τ_v , 財の価格を p_x , ヴァージン資源の価格を p_v とおくと, ヴァージン資源を利用する企業 X の利潤は以下ようになる.

$$\begin{aligned}\Pi_x &= p_x x - (p_v + \tau_v)v - \theta(\alpha)x \\ &= p_x f(v) - (p_v + \tau_v)v - \theta(\alpha)f(v).\end{aligned}\quad (1)$$

企業 X は (1) 式の利潤を最大にするようにヴァージン資源の需要量 v , 環境デザイン投資水準 α を決める. したがって, 利潤最大化の一階条件は,

$$(p_x - \theta(\alpha))f'(v) = p_v + \tau_v, \quad (2)$$

$$\frac{dp_x}{d\alpha} = \theta'(\alpha), \quad (3)$$

のように表わせる. ここで, (3) 式の左辺の $dp_x/d\alpha (> 0)$ は, 環境デザイン投資水準 α の 1 単位の増加に対して企業 X が受け取りたいと思う金額を表している. このように財の価格 p_x が財の特性を表す要素のひとつである環境配慮レベル α の関数となっているとき, このような価格 p_x はヘドニック価格と呼ばれる.

次に, ヴァージン資源の採掘業者 (供給者) の行動について考える. ヴァージン資源採掘の限界コストを c_v とおくと, ヴァージン資源の採掘業者の利潤は以下のように表される.

$$\Pi_v = p_v v - c_v v. \quad (4)$$

ここで, 完全競争を仮定すると,

$$p_v = c_v, \quad (5)$$

が成り立つ.

2.2 企業 Y (リサイクル資源を利用する企業)

ここでは, 生産要素としてリサイクル資源を投入する企業 Y を考える. 企業 Y の生産関数を $y = h(r)$ とおき, r をリサイクル資源投入量, y をリサイクル財の生産量とする. ここで, $h' > 0$, $h'' < 0$ を仮定する.

リサイクル資源の投入に対する補助金率を s , リサイクル財の価格を p_y , リサイクル資源の価格を p_r とおくと, リサイクル資源を利用する企業 Y の利潤は以下ようになる.

$$\begin{aligned}\Pi_y &= p_y y - (p_r - s)r \\ &= p_y h(r) - (p_r - s)r.\end{aligned}\quad (6)$$

企業 Y は (6) 式の利潤を最大にするようにリサイクル資源の需要量 r を決める. したがって, 利潤最大化の一階条件は,

$$p_y h'(r) = p_r - s, \quad (7)$$

のように表わせる。

次に、リサイクル資源の供給者（リサイクル業者）の行動について考える。リサイクル業者は家計から価格 τ_r で資源ごみを受け取る¹。資源ごみの受取量（リサイクル資源の供給量）を r とし、資源ごみのリサイクル（再資源化）の限界コストを c_r とおくと、リサイクル業者の利潤は以下のように表される。

$$\Pi_r = (p_r + \tau_r)r - c_r r. \quad (8)$$

ここで、完全競争を仮定すると、

$$p_r + \tau_r = c_r, \quad (9)$$

が成り立つ。

2.3 家計

ここでは、家計の消費選択行動とごみ分別行動を考える。家計は3つの財を消費することで満足を得るものとする。1つ目は企業Xが生産・供給している（ヴァージン資源で作られた）財の消費（以降、X財と呼ぶ）、2つ目は企業Yが生産・供給している（リサイクル資源で作られた）財の消費（以降、Y財と呼ぶ）、3つ目は合成財（貨幣）の消費である。経済に存在する家計はすべて同質であり、次のような準線形の効用関数²をもつものとする。

$$u(x, y) + m. \quad (10)$$

ここで、 $u_x > 0$, $u_{xx} < 0$, $u_y > 0$, $u_{yy} < 0$ を仮定する。また、任意の t に対して $u_x(t) > u_y(t)$ が常に成り立つことを仮定する。これは、ヴァージン資源から作られた財の方がリサイクル資源から作られた財よりも常に限界効用が高いことを意味している。

家計はX財、Y財を消費するとごみを排出する。X財を x 単位消費すると x 単位のごみが発生し、Y財を y 単位消費すると y 単位のごみが発生するものとする。X財の消費によって発生するごみは企業Xの環境デザイン投資水準 α に依存してごみの種類が異なり、 $(1 - \alpha)x$ が可燃ごみの発生量であり、 αx が資源ごみの発生量である。一方、分析の簡単化のためY財の消費によって発生するごみはすべて可燃ごみであるとする。

ここで、家計はごみの分別を行わなければならない、資源ごみとしてごみを出すためには分別努力による不効用が発生するものとする。例えば、食品や弁当のプラスチックのトレーを資源ごみとして出すためには水で洗って乾かしてから出す必要があるし、ペットボトルについても包装を剥がしてから出す必要があり、この行為は家計にとって不効用をもたらすと考えられる。資源ごみの分別

¹ ここで、資源ごみの価格 τ_r は正にもなりうるし、負にもなりうることに注意されたい。

² 準線形の効用関数は所得効果がゼロになるという性質をもつことに注意されたい。

努力水準を β ($0 \leq \beta \leq 1$) とおくと、ごみの総量 x のうち家計が資源ごみとして排出する量は $\alpha\beta x$ で表され、可燃ごみとして排出する量は $(1-\alpha\beta)x$ で表される。すなわち、 x 単位のごみのうち $(1-\alpha)x$ が可燃ごみであり、 αx が資源ごみであるが、家計は資源ごみ αx のうち $\alpha\beta x$ だけ分別して「資源ごみ」として排出し、残りの資源ごみ $\alpha(1-\beta)x$ は可燃ごみ $(1-\alpha)x$ と合わせて「可燃ごみ」として排出することを意味している。ごみ 1 単位あたりの資源ごみの分別努力による不効用を

$$\frac{B}{2}\beta^2 \quad (11)$$

とおく。 B は不効用の大きさを表すパラメータであり、分別努力水準 β の上昇に対して不効用が大きくなることを意味している。(10)式と(11)式より、家計の効用関数を次のように定義する。

$$U(x, y, m, \beta) = u(x, y) + m - \frac{B}{2}\beta^2 x. \quad (12)$$

家計はごみを分別して排出する際、可燃ごみの排出に対して課税率 τ_g を政府（地方自治体）に支払い、資源ごみの排出に対して価格 τ_r をリサイクル業者に支払う³。したがって、家計の予算制約式は、所得を I （パラメータ）とすると、

$$I = p_x x + p_y y + m + \tau_g((1-\alpha\beta)x + y) + \tau_r \alpha\beta x, \quad (13)$$

となる。家計は(13)式の予算制約式のもとで(12)式の効用を最大にするように、消費選択 (x, y, m) と分別努力 β 、そして企業の環境デザイン投資に対する需要 α を決める。家計の効用最大化の一階条件は、

$$u_x = \frac{B}{2}\beta^2 + p_x + \tau_g(1-\alpha\beta) + \tau_r \alpha\beta, \quad (14)$$

$$u_y \leq p_y + \tau_g, \quad (15)$$

$$B\beta \geq (\tau_g - \tau_r)\alpha, \quad (16)$$

$$\frac{dp_x}{d\alpha} \geq (\tau_g - \tau_r)\beta, \quad (17)$$

となる。ここで、(17)式の左辺の $dp_x/d\alpha (>0)$ は、企業の環境デザイン投資水準 α の 1 単位の増加に対して家計が支払ってもよいと思う金額を表している。

また、(16)式と(17)式より、もし $\tau_g - \tau_r < 0$ 、すなわち、(16)式と(17)式が不等号で成り立つならば、家計は $\alpha = 0$ 、 $\beta = 0$ を選択することになる。これは、可燃ごみの排出よりも資源ごみの排出の方がコストが大きければ、家計は環境デザイン投資水準の高い (α が高い) 財を購入しなくなる、資源ごみの分別努力もしなくなることを意味する。したがって、ここでは、 $\tau_g - \tau_r > 0$ 、

³ τ_g は政府（地方自治体）の政策変数であるのに対し、 τ_r は資源ごみ市場の需給で決まる内生変数である。

すなわち、(16)式と(17)式が等号で成り立つケースを想定して話を進めていく。

ここで、リサイクル財市場が成立するかどうかを見るために(15)式に注目すると、右辺のリサイクル財の価格 p_v と可燃ごみ排出への課税率 τ_g が十分高いとリサイクル財に対する需要が0になるケースがあることが分かる。すなわち、

$$u_y|_{y=0} < p_y + \tau_g,$$

が成り立つとき、リサイクル財への需要は0となりリサイクル財市場は成立しなくなる。次節以降で検討する最適ごみ処理政策のデザインにおいて、この条件を最適ごみ処理政策の組み合わせがクリアできているかどうかをチェックすることになる。

2.4 市場均衡

ここでは、市場均衡を考える。まず、(3)式と(17)式より、環境デザイン投資水準 α に対して企業が受け取りたいと思っている金額 ((3)式の左辺) と家計が支払ってもよいと思う金額 ((17)式の左辺) は市場均衡において等しくなることから、

$$\theta'(\alpha) = (\tau_g - \tau_r)\beta, \tag{18}$$

成り立つ。

したがって、(2)、(5)、(7)、(9)、(14)、(15)、(16)、(18)の8つの式に、X財の需給均等式である $x=f(v)$ 、Y財の需給均等式である $y=h(r)$ 、資源ごみの需給均等式である $r=\alpha\beta x$ の3つの式を加えた合計11式を解くことによって、 $(v, \alpha, \beta, x, y, r, p_x, p_r, p_v, p_r, \tau)$ の11の変数が市場均衡解として求められることになる。なお、これらの市場均衡解は、政府（地方自治体）の政策変数である (τ_g, τ_r, s) の関数となっている。

ここで、上の11の式をさらにまとめることにする。まず、(16)式と(18)式より、

$$B\beta^2 = \alpha\theta'(\alpha), \tag{19}$$

が成り立つ。また、(5)式を(2)式に代入し p_x の式に変形して(14)式に代入し、さらに、(18)式を τ_r の式に変形して(14)式に代入してまとめると、(14)式は以下ようになる。

$$u_x f' - \frac{B}{2} \beta^2 f' - c_v - \tau_v - \theta(\alpha) f' - \tau_g f' + \alpha \theta'(\alpha) f' = 0. \tag{20}$$

また、(18)式を τ_r の式に変形し(9)式に代入し、 p_r の式に変形して(7)式に代入する。さらに、(15)式を(7)式に代入してまとめると、(7)式は以下ようになる。

$$u_y h' \beta - \theta'(\alpha) - c_r \beta - \tau_g h' \beta + \tau_r \beta + s \beta = 0. \tag{21}$$

以上の式変形によって、(19)、(20)、(21)の3つの式を解くことによって市場均衡解 $(\hat{v}, \hat{\alpha}, \hat{\beta})$ が

求められることになる。

3 社会的最適解

本節では、まず、社会的余剰を定義し、社会的余剰を最大にする最適なヴァージン資源の使用量 v^* 、環境デザイン投資水準 α^* 、分別努力水準 β^* を導出する。その後、市場均衡解を社会的最適解に一致させるようなごみ処理政策が存在するの否かを検証する。

3.1 社会的最適解

まず、本稿が想定する経済において、社会的に望ましいヴァージン資源の使用量 v^* 、環境デザイン投資水準 α^* 、分別努力水準 β^* をもとめる。ここで、消費者余剰と生産者余剰の和から3つ外部費用（ヴァージン資源採取で生じた自然環境破壊による外部費用、可燃ごみを焼却する際に発生する外部費用、資源ごみを焼却する際に発生する外部費用）を差し引いたものを社会的余剰と定義すると、

$$SW = u\left(f(v), h(\alpha\beta f(v))\right) - \frac{B}{2}\beta^2 f(v) - c_v v - \theta(\alpha)f(v) - c_r \alpha\beta f(v) - D(v) - \underline{d}\left((1-\alpha)f(v) + h(\alpha\beta f(v))\right) - \bar{d}\alpha(1-\beta)f(v), \quad (22)$$

のように表わせる。(22)式の第1項は2つの財の消費によって家計が得る満足を表わしており、第2項は家計の分別努力による不効用を表わしている。第3項はヴァージン資源の採取コスト、第4項は企業の環境デザイン投資コスト、第5項は資源ごみのリサイクル（再資源化）コストを表している。また、第6項はヴァージン資源採取で生じた自然環境破壊による外部費用を表しており、 $D' > 0$ 、 $D'' > 0$ を仮定する。第7項は可燃ごみを焼却処分した際に発生する外部費用を表しており、可燃ごみ1単位あたりの費用を \underline{d} とおく。第8項は資源ごみを焼却処分した際に発生する外部費用を表しており、資源ごみ1単位あたりの費用を \bar{d} とおく。ここで、注意すべき点は、可燃ごみとして排出されたごみの総量 $(1-\alpha\beta)f(v) + h(\alpha\beta f(v))$ のうち、 $(1-\beta)f(v)$ は「資源ごみ」であるが分別されず「可燃ごみ」に混じって排出されたごみである。これらの資源ごみは可燃ごみに混ざって同じように焼却されるが、プラスチック等を含む資源ごみであるので焼却の際、有害な物質を発生させる可能性がある。したがって、可燃ごみ1単位を焼却する際の外部費用 \underline{d} よりも資源ごみ1単位を焼却する際の外部費用 \bar{d} の方が大きいと仮定する ($\underline{d} < \bar{d}$)。

(22)式の社会的余剰最大化の一階条件は以下の3式のように表される。

$$\begin{aligned} \frac{dSW}{dv} = & u_x f' + u_y h' \alpha \beta f' - \frac{B}{2} \beta^2 f' - c_v - c_r \alpha \beta f' - \theta(\alpha) f' \\ & - D'(v) - \underline{d} f' \left((1 - \alpha) + h' \alpha \beta \right) - \bar{d} \alpha (1 - \beta) f' = 0, \end{aligned} \quad (23)$$

$$\frac{dSW}{d\alpha} = u_y h' \beta - \theta'(\alpha) - c_r \beta + \underline{d}(1 - h' \beta) - \bar{d}(1 - \beta) = 0, \quad (24)$$

$$\frac{dSW}{d\beta} = u_y h' \alpha - B\beta - c_r \alpha - \underline{d} h' \alpha + \bar{d} \alpha = 0. \quad (25)$$

上の(23), (24), (25)の3式を満たす (v^*, α^*, β^*) が社会的最適解となる。

3.2 社会的最適解の実現可能性

ここでは, (23), (24), (25)の3式から得られる社会的最適解 (v^*, α^*, β^*) に(19), (20), (21)の3式から得られる市場均衡解 $(\hat{v}, \hat{\alpha}, \hat{\beta})$ を一致させるようなごみ処理政策 (可燃ごみ排出への課税率 τ_g , ヴァージン資源使用への課税率 τ_v , リサイクル資源使用への補助金率 s) が存在しうるかどうかを見てみる⁴。

社会的最適解の2つの条件式である(24)式と(25)式より,

$$B\beta^2 = \alpha\theta'(\alpha) + \alpha(\bar{d} - \underline{d}), \quad (26)$$

を得ることができる。ここで, 市場均衡解の条件式である(19)式を満たす $(\hat{\alpha}, \hat{\beta})$ を社会的最適解の条件式である(26)式に代入すると,

$$B\hat{\beta}^2 < \hat{\alpha}\theta'(\hat{\alpha}) + \hat{\alpha}(\bar{d} - \underline{d}),$$

となり等号で成立しなくなる。これは(19)式がごみ処理政策 (τ_g, τ_v, s) に依存しないためであり, 市場均衡解を社会的最適解に一致させることは不可能であることが分かった。

命題1 ごみ処理政策 (τ_g, τ_v, s) では, 市場均衡解を社会的最適解に導くことができない。

4 最適なごみ処理政策

3節の分析より, 社会的最適解を達成させるようなごみ処理政策は存在しないことが分かった。したがって, 本節では, 社会的最適解を実現できなかった原因を探り, 社会的最適解を達成するために必要な新たな政策を提案する。そして, 新たな政策を加えることで社会的最適解を実現可能にした最適なごみ処理政策について検討し, リサイクル財市場が存在するための条件を考慮することで最適なごみ処理政策の範囲が制限されることを示す。

⁴ 本稿では, τ_g および τ_v による税金は一般財源化されるものとし, s については一般財源から拠出されるものとする。なお, 本稿では, 分析の単純化のため一般財源の収支については考慮しないものとする。

4.1 新たな政策の追加

ここでは、現行のごみ処理政策 (τ_g, τ_r, s) の問題点を探ってみる。本稿のモデルにおける外部不経済は、ヴァージン資源採取による外部費用、可燃ごみの排出による外部費用、資源ごみの排出による外部費用の3つである。ヴァージン資源の投入に対しては τ_v を企業 X に課すことで外部費用を内部化し、可燃ごみの排出に対しては τ_g を家計に課すことで外部費用を内部化することができる。しかしながら、資源ごみが分別されず可燃ごみに混じって排出された場合、資源ごみ 1 単位の排出に対して発生する外部費用は可燃ごみに比べて $\bar{d} - \underline{d} > 0$ だけ大きい。その一方で、家計に課される税率は可燃ごみと同じ水準である τ_g であるので、資源ごみの排出に対して発生する外部費用が完全に内部化されていないことになる。また、リサイクル資源の投入に対する補助金 s の効果についても、(7)式から分かるようにリサイクル資源の需要の大きさ r には影響を与えるが、その中身については影響を与えない。すなわち、補助金 s の上昇は r を増加させるものの、それは家計の分別努力 β を上昇させて r を増加させた訳ではないのである。したがって、現行のごみ処理政策 (τ_g, τ_r, s) では家計に対して資源ごみの分別努力への十分なインセンティブを与えることができないと言える。

ここで、この問題点を解消するために新たな政策を追加する。最大の問題点は家計に分別されずに資源ごみが可燃ごみに混ざって排出されている点であり、資源ごみの排出に対して十分な費用負担がなされていないことに原因がある。したがって、分別されなかった資源ごみに対して罰金を科すような政策を追加することを考える。資源ごみであるにもかかわらず分別せずに可燃ごみとして排出しそれが発見された場合、家計は τ_p の罰金を科されるものとする。また、不法分別の発見確率を $p(\alpha(1-\beta)x)$ で表す ($p' > 0, p'' < 0$)。すなわち、これは不法分別される資源ごみの総量が増えると発見確率が高くなることを意味している。

ここで、 τ_p を新たに加えたごみ処理政策 $(\tau_g, \tau_r, \tau_p, s)$ の下で市場均衡条件がどのように変わるかを見ていこう。政策 τ_p を追加することによって、まず、家計は X 財への需要量 x を決定する際にごみの総量 x の上昇によって不法分別の発見確率が上昇する効果を考慮に入れる。したがって、(14)式は以下のように書き換えられる。

$$u_x = \frac{B}{2}\beta^2 + p_x + \tau_g(1 - \alpha\beta) + \tau_r\alpha\beta + \tau_pp'\alpha(1 - \beta). \quad (27)$$

次に、家計は資源ごみの分別努力 β を決定する際に分別努力 β を上昇させることで不法分別の発見確率が減少する効果を考慮に入れる。したがって、(16)式は以下のように書き換えられる。

$$B\beta = (\tau_g - \tau_r)\alpha + \tau_pp'\alpha. \quad (28)$$

最後に、家計は環境デザイン投資に対する需要 α を決定する際にごみ全体に対する資源ごみの割合 α の上昇によって不法分別の発見確率が上昇する効果を考慮に入れる。したがって、(17)式は以下のように書き換えられる。

$$\frac{dp_x}{d\alpha} = (\tau_g - \tau_r)\beta - \tau_p p'(1 - \beta). \quad (29)$$

以上より、新しいごみ処理政策 $(\tau_g, \tau_v, \tau_p, s)$ の下での市場均衡解は、(2), (5), (7), (9), (15), (27), (28), (29)の8つの式に $x=f(v)$, $y=h(r)$, $r=\alpha\beta x$ の3つの式を加えた合計11式を解くことによって求めることができる。

4.2 最適なごみ処理政策

ここでは、新しいごみ処理政策 $(\tau_g, \tau_v, \tau_p, s)$ の下での市場均衡条件を社会的最適条件に一致させるような最適なごみ処理政策を導出する。

2.4節同様、社会的最適条件と市場均衡条件を比較するため、新しいごみ処理政策 $(\tau_g, \tau_v, \tau_p, s)$ の下での11本の市場均衡条件式を3つの変数 (v, α, β) からなる3本の式にまとめると、

$$B\beta^2 = \alpha(\theta'(\alpha) + \tau_p p'), \quad (30)$$

$$u_x f' - \frac{B}{2}\beta^2 f' - c_v - \tau_v - \theta(\alpha)f' - \tau_g f' + \alpha\theta'(\alpha)f' = 0, \quad (31)$$

$$u_y h' \beta - \theta'(\alpha) - c_r \beta - \tau_g h' \beta + \tau_g \beta + s\beta - \tau_p p'(1 - \beta) = 0, \quad (32)$$

のように表される。この(30), (31), (32)の3つの式を解くことによって新しいごみ処理政策 $(\tau_g, \tau_v, \tau_p, s)$ の下での市場均衡解 $(\bar{v}, \bar{\alpha}, \bar{\beta})$ が求められることになる。

以下では、(23), (24), (25)の3式から得られる社会的最適解 (v^*, α^*, β^*) に(30), (31), (32)の3式から得られる市場均衡解 $(\bar{v}, \bar{\alpha}, \bar{\beta})$ を一致させるような最適なごみ処理政策が存在するかどうかを検討する。

まず、社会的最適解の2つの条件式である(24)式と(25)式より、

$$B\beta^2 = \alpha\theta'(\alpha) + \alpha(\bar{d} - \underline{d}), \quad (33)$$

を得ることができる。ここで、市場均衡条件(30)式と社会的最適条件(33)式を比較することで不法分別に対する最適罰金額 τ_p^* は以下のように求まる。

$$\tau_p^* = \frac{\bar{d} - \underline{d}}{p'}. \quad (34)$$

次に、社会的最適条件(24)式と市場均衡条件式(32)式が等しくなるためには、

$$\underline{d}(1 - h' \beta) - \bar{d}(1 - \beta) = -\tau_g h' \beta + \tau_g \beta + s\beta - \tau_p^* p'(1 - \beta), \quad (35)$$

が成立する必要がある。(35)式に(34)式を代入して整理すると、可燃ごみ排出への最適課税率 τ_g^* とリサイクル資源利用への最適補助金率 s^* は以下の式を満たすように決まる。

$$\tau_g^*(1 - h') + s^* = \underline{d}(1 - h'). \quad (36)$$

最後に、市場均衡解の2つの条件式である(31)式と(32)式より、

$$\begin{aligned} u_x f' + u_y h' \alpha \beta f' - \frac{B}{2} \beta^2 f' - c_v - c_r \alpha \beta f' - \theta(\alpha) f' \\ - \tau_v - \tau_g^* f' (1 + \alpha \beta h' - \alpha \beta) + s^* \alpha \beta f' - \tau_p^* p' \alpha (1 - \beta) f' = 0, \end{aligned} \quad (37)$$

を得ることができる。ここで、社会的最適条件(23)式と市場均衡条件(37)式が等しくなるためには、可燃ごみ排出への最適課税率 τ_g^* とリサイクル資源利用への最適補助金率 s^* 、ヴァージン資源利用への最適課税率 τ_p^* が以下の式を満たすように決まる必要がある。

$$-\tau_g^* f' (1 + \alpha \beta h' - \alpha \beta) + s^* \alpha \beta f' - \tau_v^* = -\underline{d} f' (1 + \alpha \beta h' - \alpha \beta) - D'(v). \quad (38)$$

以上より、(34)、(36)、(37)の3つの式を満たすごみ処理政策 $(\tau_g^*, \tau_v^*, \tau_p^*, s^*)$ が社会的最適解を実現させる最適な政策である。ここで、 τ_p^* については(34)式から分かるように最適な水準が一意に求まるが、その他の $(\tau_g^*, \tau_v^*, s^*)$ については(36)式と(37)式を満たすように決めればよいために複数の最適政策が存在することが分かる。

命題2 社会的最適解を実現させるための最適なごみ処理政策 $(\tau_g^*, \tau_v^*, \tau_p^*, s^*)$ は(34)、(36)、(37)の3つの式を満たすように決まり、 τ_g^* については一意に決まるが、 $(\tau_g^*, \tau_v^*, s^*)$ については複数の組み合わせが存在する。

ここで、仮に(34)、(36)、(37)の3つの式を満たす最適政策のひとつとして、

$$\tau_p^* = \frac{\bar{d} - \underline{d}}{p'}, \quad \tau_g^* = \underline{d}, \quad \tau_v^* = D', \quad s^* = 0, \quad (39)$$

を考えてみよう。これは、リサイクル資源利用への補助金がない ($s^* = 0$) 場合でも社会的最適解が実現できることを意味している。ここで、再びリサイクル財の需要を表す(15)式に注目する。(15)式を見ると、リサイクル財の均衡価格 \bar{p}_v と可燃ごみ排出への最適課税率 τ_g^* が十分大きいと(15)式の右辺が左辺より大きくなり、リサイクル財の需要がゼロになる可能性がある。いま、(39)式より、パラメータ \underline{d} が十分大きい場合、可燃ごみ排出への最適課税率 $\tau_g^* = \underline{d}$ も十分大きくなるため、(15)式が成立しなくなる可能性が生じることが分かる。この場合、(39)式のような政策の組み合わせはリサイクル財市場を成立させない可能性があるため、望ましい政策とは言えないであろう。

(7)式を見ると、リサイクル財の均衡価格 \bar{p}_v はリサイクル資源利用への補助金率 s^* の減少関数であることが分かる。したがって、(39)式のようなリサイクル資源利用への補助金をなくし ($s^* = 0$)、可燃ごみ排出への課税によって可燃ごみ排出による外部費用をすべて内部化する ($\tau_g^* = \underline{d}$) ような極端なごみ処理政策はリサイクル財市場の存在条件を考慮する際、望ましいとは言えず、リサイクル資源利用への補助金率 s^* を上昇させて可燃ごみ排出への課税 τ_g^* を減少させることが社会的に望ましいと言える。以上の考察を命題3としてまとめておく。

命題3 リサイクル財市場の存在条件を考慮した場合、ごみ処理政策 $(\tau_g^*, \tau_v^*, \tau_p^*, s^*)$ の最適な組み合わせ数は制限され、 τ_g^* の水準を低く s^* の水準を高くする政策の方が望ましいと言える。

5 おわりに

本稿は、Choe and Fraser (1999) によって構築されたモデルに、企業による「ごみの種類」(可燃ごみあるいは資源ごみ)の決定問題、家計によるごみの分別行動、資源ごみのリサイクル市場成立条件の3つの要素を新たに導入することで拡張を試みた。本稿では、家計の財消費後の行動として Fullerton and Kinnaman (1995) や Choe and Fraser (1999) が考察してきた不法投棄行動ではなく、家計によるごみの分別行動を分析し、社会的最適解を実現可能とする最適なごみ処理政策について考察を行った。

本稿の分析で得られた主要な結論は次のようなものである。可燃ごみ排出への課税、ヴァージン資源利用への課税、そしてリサイクル資源利用への補助金の3つのごみ処理政策では市場均衡解を社会的最適解に導くことができない(命題1)。なぜならば、資源ごみが分別されずに可燃ごみに混ざって排出された場合、資源ごみ1単位の排出に対して発生する外部費用よりも低い課税率(可燃ごみ排出への課税率)でしか家計に費用負担を負わせることができないためである。したがって、資源ごみを可燃ごみに混ぜて排出する不法分別に対する罰金政策を新たにごみ処理政策に加えて考えると、市場均衡解を社会的最適解に一致させるような最適なごみ処理政策の組み合わせが複数存在することが分かった(命題2)。しかしながら、リサイクル財市場の存在条件を考慮に入れると最適なごみ処理政策の組み合わせが制限されることが示された(命題3)。

最後に本稿に残されたいくつかの課題について言及する。まず、本稿では、家計はすべて同質的であることを仮定していたが、企業の環境デザイン投資水準やリサイクル財への選好に関しては、一般的に家計はそれぞれ異なった選好をもつであろう。したがって、今後は家計の環境に対する選好の違いをモデルに組み込んだ分析が必要であるだろう。次に、本稿では、不法分別の発見確率について政府(地方自治体)はそれを操作することができないケースを扱った。したがって、政府の最適なモニタリング水準を決定する問題を考えることは現実の政策を立案する上で非常に興味深いと言える。最後に、本稿では社会的最適(ファースト・ベスト)条件を実現する最適なごみ処理政策を導出したが、社会的最適解が実現できない場合には社会的余剰を最大にするセカンド・ベスト(次善の)政策を導出してごみ処理政策のあり方について言及することも重要であろう。

参考文献

- [1] Calcott, K. and M.Walls(2000), "Can Downstream Waste Disposal Policies Encourage Upstream 'Design for Environment'?", *American Economic Review*, Vol.90, pp.233-237.
- [2] Choe, C. and Fraser.I(1999), "An Economic Analysis of Household Waste Management," *Journal of Environmental*

Economics and Management, Vol.38, pp.234-246.

- [3] Eichner, T. (2006), "Imperfect Competition in the Recycling Industry," *Metroeconomica*, forthcoming.
- [4] Eichner, T. and R.Pethig (2001), "Product Design and Efficient Management of Recycling and Waste Treatment," *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol.41, pp.109-134.
- [5] 福山博文 (2006), 「不完全競争下におけるゴミ処理有料化, 不法投棄, およびグリーン・デザイン」, 『立教経済学研究』第59巻第4号, pp.183-191.
- [6] Fullerton, D. and T.Kinnaman (1995), "Garbage, Recycling, and Illicit Burning or Dumping," *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol.29, 78-91.
- [7] Fullerton, D. and W.Wu (1998), "Policies for Green Design," *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol.36, pp.131-148.
- [8] Kolstad, C. (1999), *Environmental Economics*, Oxford University Press. (細江守紀・藤田敏之 監訳, 『環境経済学入門』, 有斐閣, 2003年)