

# 開放経済におけるリサイクリングと経済成長

柳 瀬 明 彦

## Recycling and Economic Growth in an Open Economy

Akihiko YANASE

### Abstract

In response to an increasing volume of international trade in recycled materials, formal theoretical studies on recycling and international trade have been recently developed. This paper tries to develop a dynamic general equilibrium model of a small open economy with three sectors (investment good, consumption good, and recycled material). The equilibrium growth path and the steady state solution under which recycled materials are tradable and those under no trade in recycled materials are respectively examined. Some comparative static results under trade in recycled materials are also derived.

### 1 はじめに

廃棄物をめぐる問題は、多くの国々で深刻かつ喫緊の問題となっており、重要な政策課題の一つであることは疑いない。わが国でも、「循環型社会形成推進基本法」（循環型社会基本法）が2000年に制定され、「廃棄物等の発生抑制、循環資源の循環的な利用および適正な処分が確保されることによって、天然資源の消費を抑制し、環境への負荷ができる限り低減される」循環型社会の構築のための基本的枠組みが示されるようになった。また、基本法の整備に伴い、個別の廃棄物・リサイクル関係の法律も一体的に整備された。

循環型社会基本法には、第31条に「循環資源の循環的な利用及び処分に関する国際的な連携」が盛り込まれているものの、この法律が国際的な社会経済情勢を視野に入れたものであるとの印象は薄い。これは、1992年に改正された「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」（廃棄物処理法）の第2条の2に「国内処理の原則」が謳われていることと無関係ではないだろう。国内処理の原則とはすなわち、国内において生じた廃棄物はなるべく国内において適正に処理されなければならない、また国外において生じた廃棄物は国内における適正処理に支障が生じないように輸入が抑制されなければならない、というものである。国内優先の考え方は、リサイクルに関して

も当てはまる。寺園 (2005) が指摘しているように、個別リサイクル法においては、「使用済自動車の再資源化等に関する法律」(自動車リサイクル法)を除いて輸出に関する規定は見られない。

こうした廃棄物処理およびリサイクルにおける国内重視の考え方の背景について、いくつか指摘しておきたい。1992年の廃棄物処理法の改正には、「有害廃棄物の国境を越える移動及びその処分の規制に関するバーゼル条約」の発効の影響が大きい。ただし、バーゼル条約では規制対象となる有害廃棄物が廃棄の経路や有害特性から規定されているが、廃棄物処理法においては有害か無害かを問わず、廃棄物の貿易は環境大臣の許可や確認を必要とするなどの規制が行われている。また、個別リサイクル法において輸出に関する規定が見られないのは、国境を越えるリサイクル活動には管理責任の問題が生ずるといふこととも関係している。例えば、「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」(容器リサイクル法)に定められた指定法人(財団法人日本容器包装リサイクル協会)ルートのリサイクルにおいては、再商品化事業者として登録している企業は、容器包装廃棄物を国内で再商品化せずに海外へ輸出することを禁止されている。日本容器包装リサイクル協会によると、海外への輸出を伴う事業は協会の管理の限界を超えるため、<sup>1)</sup>というのがその最大の理由であるという。さらに現実的な問題として、循環資源の輸出の増加が日本国内のリサイクル業者の経営を圧迫し、国内のリサイクル産業の衰退を招く恐れがある、という点が指摘される。事実、操業の縮小や民事再生法の適用に追い込まれている企業も出ており、国内のリサイクル産業の保護の観点から循環資源の輸出を抑制すべきであるとの意見も少なからず存在する。

上述のように、わが国のリサイクルのシステムは、少なくとも現在の法制度を見る限り、閉鎖経済を前提としたものであると判断される。その一方で、循環資源や中古品の貿易は増加の一途をたどっているのが現状である。<sup>2)</sup>したがって、廃棄物とリサイクルの問題を経済学的に分析するならば、廃棄物の国際取引を考慮に入れた開放経済モデルを用いるのが適切であろう。こうした観点から、本稿ではリサイクル活動および循環資源の貿易を明示的に考慮に入れた理論モデルの構築を試みる。特に、資本蓄積による経済成長のプロセスを考慮に入れた、開放経済の動学的一般均衡モデルを提示し、その分析を行う。

## 2 リサイクリングの経済理論

リサイクリングを導入した小国開放経済の動学的一般均衡モデルを提示する前に、本節では、リサイクリングの経済理論を扱った研究について簡単なサーベイを行う。リサイクリングに関する理論的研究は、Eichner and Pethig (2001)でも述べられているように、(i) 動学的最適化モデル、(ii) 静学的部分均衡モデル、(iii) 静学的一般均衡モデル、という3つのアプローチでそれぞれ行われてきた。

リサイクル活動の存在する経済の営みを動学的最適化モデルによって分析する試みは、1970年代から既に行われており、代表的な研究としてSmith (1972)、Lusky (1975)、Hoel (1978)などが挙げられる。これらの研究においては、社会計画者が廃棄物のリサイクリングおよび処理も含めたすべての経済活動の経路を決定する下での、社会的に最適な経済の動学経路の性質が検討されている。また、廃棄物に対する政策が必ずしも最適に行われない場合の競争均衡経

路についての議論もなされている。

動学モデルによるリサイクリングの経済分析は、近年になって様々な方向性を示しつつ新たな発展を見ている。Hutala (1997) は、リサイクルされない廃棄物の最終処分の問題について、動学的最適化モデルを解いた後、現実のデータを用いたシミュレーション分析を行っている。上掲の1970年代の研究では、こうしたシミュレーション分析は行われていない。1970年代の研究はまた、極めて単純な経済構造を想定して分析を行っていた。これに対し、Conrad (1999) は、生産工程におけるスクラップの発生およびそのリサイクルの工程を詳細に定式化した企業モデルを分析し、その上で政府が政策変数の最適な動学経路を決定するという理論モデルを構築している。さらには、内生的成長モデルの枠組みでリサイクリングを扱った研究も、Di Vita (2001, 2002) や Pittel et al. (2005) などによって行われている。

静学モデルによるリサイクリングの経済分析は、1990年代以降は一般均衡アプローチによるものを中心となっている。代表的な文献として、Dinan (1993), Fullerton and Kinnaman (1995), Eichner and Pethig (2001) などが挙げられる。これらの研究においては、まず廃棄物の処理やリサイクル（および天然資源の採取）を含めたすべての経済活動について、それが社会的に最適な水準に行われる場合のファースト・ベスト解の特徴付けが行われる。そして、社会的最適解を競争均衡の下で達成するためのポリシー・ミックスが導出される。特に、Fullerton and Kinnaman (1995) は不法投棄の問題を、またEichner and Pethig (2001) は製品デザインとその環境負荷への影響を、それぞれ考慮に入れており、現実の政策問題の関連において興味深い研究である。

以上に挙げた研究は、いずれも閉鎖経済のモデルを用いたものである。リサイクリングと国際貿易に関する理論的研究は、部分均衡モデルによるGrace et al. (1978) やYohe (1979) があるものの、本格的な研究が行われるようになったのはごく最近のことである。Higashida and Jinji (2006) は、製品の生産に一定割合の再生資源を含めなければならないという含有量基準の決定を戦略的貿易政策の枠組みで分析し、再生資源の貿易が行われるケースと行われないケースとで、こうしたリサイクル関連政策の効果を比較検討している。van Beukering and van den Bergh (2006) では、先進国と発展途上国との間の循環資源も含めた貿易について、マテリアルバランス（物質収支）を厳密に考慮に入れた理論モデルの分析が行われている。Higashida (2006) は、再生資源の貿易を考慮に入れて、リサイクル活動への補助金が廃棄物の最終処分量や経済厚生に与える影響を検討している。Higashida (2007) では、最終財産業が不完全競争であるとの設定の下で、再生資源の貿易自由化が生産量や廃棄物の最終処分量、および経済厚生に与える影響が分析されている。Shinkuma (2007) は、使用済みの耐久消費財を廃棄するか輸出して海外で再利用するかを選択に関して、リサイクル費用の負担が後払いのケースと製品価格に上乗せされるケースとで、貿易量や経済厚生にどのような違いが起こるかを検討している。

リサイクリングと貿易に関する上掲の研究は、いずれも静学モデルである。したがって、閉鎖経済を前提としたモデルでは既に研究が行われている、資源の利用や最終処分場の問題、経済成長に関するトピックについては、まだ研究が進んでいない。開放経済下でこれらの論点を扱うにも、やはり動学モデルによる分析が必要であろう。次節以降において、その試みの一つとして、小

国開放経済の経済成長モデルにリサイクル活動を導入した理論モデルを提示し、分析を行う。

### 3 モデル

#### 3-1 基本設定

投資財部門、消費財部門、リサイクル部門という3つの生産部門から成る、小国開放経済を想定する。投資財は純粋に資本蓄積にのみ用いられ、家計による消費は行われぬ一方、消費財はすべて家計によって消費されるものとする。消費財の消費によってゴミが発生するが、政府部門によって回収され、その一部はリサイクル部門で再資源化される。投資財の生産からは廃棄物は発生しないものとし、生産活動には資本  $K_I$  と労働  $L_I$  が投入されるものとする。消費財の生産活動においては、資本  $K_C$ 、労働  $L_C$  に加えて、再生資源  $R$  が投入されるものとする。ここで  $R$  は国内での再生資源生産量  $R_d$  と再生資源の輸入量  $R_d$  の合計である ( $R_d < 0$  ならば、この国は再生資源を輸出していることになる)。リサイクル部門では、資本  $K_R$ 、労働  $L_R$  に加えて、再資源化される廃棄物  $M$  が投入される。

消費財は国際市場で自由に取引される一方、投資財は非貿易財であると仮定する。再生資源については、貿易財のケースと非貿易財のケースの両方を想定する。消費財をニューメーラールとし、投資財価格を  $p$ 、再生資源価格を  $q$  で表す。再生資源が貿易財の場合は  $p$  のみが内生変数、再生資源が非貿易財の場合は  $p$  と  $q$  がともに内生変数となる。

国際資本市場は完備しており、この経済は海外と自由に資本取引ができるものとする。小国の仮定より、世界利子率は外生的に与えられる。家計は労働と資本を所有し、市場に供給することで要素所得を得る。家計はまた、各生産部門の利潤を配当所得として受け取る<sup>3)</sup>。これらの所得は、消費財への支出に充てられ、残りは貯蓄に回るが、貯蓄手段としては、国内で生産される投資財の購入と外国資産の購入という2つの手段がある。

政府部門は、家計の消費財消費から発生するゴミから再資源化される廃棄物を回収し、リサイクル部門に買い取らせる。消費財消費量を  $C$  で、再資源化されリサイクル部門に販売される廃棄物の量を  $M$  で表すと、ゴミの回収および再資源化廃棄物抽出のコストは  $\Phi(C, M)$  という関数で与えられるものとする。ここで費用関数  $\Phi(C, M)$  は  $C$  について単調減少かつ  $M$  について単調増加の凸関数であると仮定する。リサイクル部門に対する再資源化廃棄物の販売価格を  $s$  で表すことにし、政府は以下の収支均衡条件が成立するように行動すると仮定する：

$$sM - \Phi(C, M) = 0. \quad (1)$$

#### 3-2 企業行動と生産サイドの短期均衡

この国の投資財生産量を  $X_I$ 、消費財生産量を  $X_C$ 、再生資源生産量を  $R_d$  でそれぞれ表し、各生産部門の生産技術がコブ=ダグラス型の生産関数によって表現されると仮定する：

$$X_I = A_I K_I^{\alpha_I} L_I^{1-\alpha_I}, \quad (2a)$$

$$X_C = A_C (K_C^{\alpha_C} L_C^{1-\alpha_C})^{\beta} R^{1-\beta}, \quad (2b)$$

$$R_d = A_R (K_R^{\alpha_R} L_R^{1-\alpha_R})^{\gamma} M^{1-\gamma}. \quad (2c)$$

ここで  $A_i$  は正の定数、 $\alpha_i$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  は0と1の間の定数である ( $i = I, C, R$ )。

**利潤最大化** 投資財部門における代表的企業は、利潤 $\Pi_I = pX_I - rK_I - wL_I$ を生産関数(2a)の制約の下で最大化する。ここで $r$ と $w$ はそれぞれ資本レンタル料と労働賃金率である。利潤最大化の1階条件は、 $\partial\Pi_I/\partial K_I = 0$ および $\partial\Pi_I/\partial L_I = 0$ であるが、これらの条件をまとめると、

$$r^{\alpha_I} w^{1-\alpha_I} = p \quad (3)$$

を得る。<sup>4)</sup>(3)式は、投資財部門において利潤ゼロ条件が成立することを意味している。

消費財部門、リサイクル部門も同様にして、利潤最大化の1階条件からゼロ利潤条件が導かれる。消費財部門の代表的企業の利潤は $\Pi_C = X_C - rK_C - wL_C - qR$ で、リサイクル部門の代表的企業の利潤は $\Pi_R = qR_d - rK_R - wL_R - sM$ で、それぞれ表される。前者を(2b)式の制約下で、後者を(2c)式の制約下で、それぞれ最大化して整理すると、

$$(r^{\alpha_C} w^{1-\alpha_C})^\beta q^{1-\beta} = 1 \quad (4)$$

および

$$(r^{\alpha_R} w^{1-\alpha_R})^\gamma s^{1-\gamma} = q \quad (5)$$

を得る。<sup>5)</sup>

すべての生産部門が稼動する場合、(3)、(4)、(5)の3本の式がすべて成立しなければならない。再生資源が非貿易財である場合、これらの式から $(r, w, q)$ が $(p, s)$ の関数として求められる。再生資源が貿易財である場合、これらの式から $(r, w, s)$ が $(p, q)$ の関数として求められる。

**生産要素の完全雇用** 国内の資本および労働の市場は十分に価格に対して伸縮的であるとする。その結果、これらの生産要素は完全雇用される。各部門の利潤最大化条件を考慮に入れると、資本の完全雇用条件は

$$\frac{p\alpha_I}{r}X_I + \frac{\alpha_C\beta}{r}X_C + \frac{q\alpha_R\gamma}{r}R_d = K \quad (6)$$

で、労働の完全雇用条件は

$$\frac{p(1-\alpha_I)}{w}X_I + \frac{(1-\alpha_C)\beta}{w}X_C + \frac{q(1-\alpha_R)\gamma}{w}R_d = 1 \quad (7)$$

で、それぞれ表される。ここで $K$ はこの経済の総資本量であり、また分析の単純化のため、この経済の労働賦存量は1であると仮定する。再生資源は消費財の生産にのみ投入され、また再生資源は再資源化廃棄物から生産されるので、利潤最大化条件から

$$(1-\beta)X_C = q(R_d + R_m) \quad (8)$$

および

$$q(1-\gamma)R_d = sM \quad (9)$$

が成立する。

再生資源が非貿易財である場合、 $R_m = 0$ である。したがって、(1)、(6)、(7)、(8)、(9)の5本の式から $(X_I, X_C, R_d, M, s)$ が $(p, C)$ の関数として求められる。一方、再生資源が貿易財の場合は、これら5本の式から $(X_I, X_C, R_d, M, R_m)$ が $(p, q, C)$ の関数として求められる。

### 3-3 家計の行動

この経済の消費サイドは、代表的家計の動学的最適化行動によって特徴付けられる。代表的

家計の生涯効用は、以下の式で与えられる<sup>6)</sup>：

$$\int_0^{\infty} e^{-\rho t} U(C(t)) dt. \quad (10)$$

ここで  $\rho > 0$  は家計の時間選好率であり、それは世界利子率に等しいと仮定する<sup>7)</sup>。瞬時的効用関数  $U(C)$  は、 $C \in [0, \infty)$  に関して厳密に凹関数かつ2回連続微分可能な増加関数で、 $\lim_{C \rightarrow 0} U'(C) = \infty$ 、 $\lim_{C \rightarrow \infty} U'(C) = 0$  を満たすと仮定する。

代表的家計の所有する対外純資産のストックを  $B$  で表すと、その時間変化は以下の微分方程式<sup>8)</sup>で与えられる：

$$\dot{B} = \rho B + rK + w - pI - C. \quad (11)$$

ここで  $I$  は投資財の購入量である。また、国内の資本ストックの時間変化は以下の微分方程式で与えられる：

$$\dot{K} = I - \delta K. \quad (12)$$

ここで  $\delta > 0$  は資本減耗率である。

代表的家計の問題は、制約条件(11)および(12)とストック変数の初期条件  $B_0$  および  $K_0$  の下で、生涯効用(10)を最大化する問題として定式化される。この問題を解くために、経常価値ハミルトニアンを次のように定義する：

$$H = U(C) + \lambda [\rho B + rK + w - pI - C] + \mu [I - \delta K].$$

最適化のための必要条件は、以下の式から成る：

$$U'(C) = \lambda, \quad (13)$$

$$\lambda p = \mu, \quad (14)$$

$$\dot{\lambda} = 0, \quad (15)$$

$$\dot{\mu} = (\rho + \delta)\mu - r\lambda, \quad (16)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e^{-\rho t} \lambda(t) B(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} e^{-\rho t} \mu(t) K(t) = 0. \quad (17)$$

(13)式と(14)式はそれぞれ、消費量  $C$  と投資財購入量  $I$  に関する効用最大化条件である。(15)式と(16)式はそれぞれ、対外純資産  $B$  の補助変数  $\lambda$  と国内資本ストック  $K$  の補助変数  $\mu$  の時間変化を表すオイラー方程式である。(17)式は、横断性条件を表している。

(15)式より  $\lambda$  が常に一定であることが導かれるので、(13)式より消費財の消費量も常に一定となる。以下では、この一定の消費水準を  $\bar{C}$  と表すことにする。また、(14)式、(15)式、(16)式より、投資財価格  $p$  は次の微分方程式に従って変化することが分かる：

$$\dot{p} = (\rho + \delta)p - r. \quad (18)$$

#### 4 動学的一般均衡

この小国開放経済の競争均衡経路を導出し、定常状態の性質を検討しよう。投資財は非貿易財なので、各時点において

$$I = X_I \quad (19)$$

が成立する。したがって、資本ストックの蓄積方程式は  $\dot{K} = X_I - \delta K$  となる。また、投資財価格の動学方程式は(18)式で与えられる。ただし、 $X_I$  および  $r$  は再生資源が非貿易財であるケー

スと貿易財であるケースとで異なる値をとるので、結果として資本ストックおよび投資財価格の均衡動学は両者のケースで異なるものとなる。

#### 4-1 再生資源の貿易が存在しないケース

(3)式, (4)式, (5)式より, 均衡資本レンタル料, 均衡労働賃金率, および均衡再生資源価格が次のように求められる:

$$r^* = p^{\phi_{11}} s^{\phi_{12}}, \quad w^* = p^{\phi_{21}} s^{\phi_{22}}, \quad q^* = p^{\phi_{31}} s^{\phi_{32}}, \quad (20)$$

$$\phi_{11} \equiv \frac{(1-\alpha_c)\beta + (1-\alpha_R)(1-\beta)\gamma}{(\alpha_I - \alpha_c)\beta + (\alpha_I - \alpha_R)(1-\beta)\gamma}, \quad \phi_{12} \equiv \frac{(1-\alpha_I)(1-\beta)(1-\gamma)}{(\alpha_I - \alpha_c)\beta + (\alpha_I - \alpha_R)(1-\beta)\gamma},$$

$$\phi_{21} \equiv \frac{-\alpha_c\beta - \alpha_R(1-\beta)\gamma}{(\alpha_I - \alpha_c)\beta + (\alpha_I - \alpha_R)(1-\beta)\gamma}, \quad \phi_{22} \equiv \frac{-\alpha_I(1-\beta)(1-\gamma)}{(\alpha_I - \alpha_c)\beta + (\alpha_I - \alpha_R)(1-\beta)\gamma},$$

$$\phi_{31} \equiv \frac{(\alpha_R - \alpha_c)\beta\gamma}{(\alpha_I - \alpha_c)\beta + (\alpha_I - \alpha_R)(1-\beta)\gamma}, \quad \phi_{32} \equiv \frac{(\alpha_I - \alpha_c)\beta(1-\gamma)}{(\alpha_I - \alpha_c)\beta + (\alpha_I - \alpha_R)(1-\beta)\gamma}.$$

(6)式, (7)式, (8)式, (9)式, そして(20)式より, 投資財と消費財の均衡生産量はそれぞれ

$$X_I^* = \phi_{11} \frac{r^*}{p} K + \phi_{21} \frac{w^*}{p}, \quad X_C^* = \frac{-(1-\alpha_I)r^*K + \alpha_I w^*}{(\alpha_I - \alpha_c)\beta + (\alpha_I - \alpha_R)(1-\beta)\gamma} \quad (21)$$

と, また再生資源の均衡生産量および再資源化される廃棄物の均衡投入量はそれぞれ

$$R_d^* = -\frac{1}{1-\gamma} \left( \phi_{12} \frac{r^*}{q^*} K + \phi_{22} \frac{w^*}{q^*} \right), \quad M^* = -\phi_{12} \frac{r^*}{s^*} K - \phi_{22} \frac{w^*}{s^*} \quad (22)$$

と求められる。ここで再資源化廃棄物の均衡買取価格  $s^*$  は, 以下の式を満たすように決定される:

$$s^* = \frac{\Phi(\bar{C}, M^*)}{M^*}. \quad (23)$$

**競争均衡経路** (12)式, (18)式, (19)式, (20)式, (21)式から, この経済の競争均衡経路が資本ストック  $K$  と投資財価格  $p$  に関する動学方程式体系として表現される:

$$\dot{K} = \phi_{11} p^{\phi_{11}-1} s^* (K, p)^{\phi_{12}} K + \phi_{21} p^{\phi_{21}-1} s^* (K, p)^{\phi_{22}} - \delta K, \quad (24)$$

$$\dot{p} = (\rho + \delta)p - p^{\phi_{11}} s^* (K, p)^{\phi_{12}}. \quad (25)$$

ここで  $s^*(K, p)$  は(20)式, (22)式, (23)式から陰伏的に決まる  $s^*$  であり, それは  $K$  と  $p$  に依存する。

**定常状態** この均衡動学経路の定常状態は,  $\dot{K} = \dot{p} = 0$  を満たす  $(\bar{K}^*, \bar{p}^*)$  として定義される。定常状態が存在するか否か, また均衡動学経路が定常状態に収束するか否かは, (24)式および(25)を検討することで明らかとなる。しかしながら, この動学体系においては  $s^*$  が明示的に表現されないため, 分析は困難を極める。詳細な分析は, 今後の課題としたい。

#### 4-2 再生資源の貿易が存在するケース

(3)式, (4)式, (5)式より, 均衡資本レンタル料, 均衡労働賃金率, および再資源化廃棄物の均衡買取価格が次のように求められる:

$$r^{**} = p^{\phi_{11}} q^{\phi_{12}}, \quad w^{**} = p^{\phi_{21}} q^{\phi_{22}}, \quad s^{**} = p^{\phi_{31}} q^{\phi_{32}}, \quad (26)$$

$$\psi_{11} \equiv \frac{1-\alpha_c}{\alpha_I - \alpha_c}, \quad \psi_{12} \equiv \frac{(1-\alpha_I)(1-\beta)}{(\alpha_I - \alpha_c)\beta}, \quad \psi_{21} \equiv \frac{-\alpha_c}{\alpha_I - \alpha_c}, \quad \psi_{22} \equiv \frac{-\alpha_I(1-\beta)}{(\alpha_I - \alpha_c)\beta},$$

$$\psi_{31} \equiv \frac{(\alpha_c - \alpha_R)\gamma}{(\alpha_I - \alpha_c)(1-\gamma)}, \quad \psi_{32} \equiv \frac{(\alpha_I - \alpha_c)\beta + (\alpha_I - \alpha_R)(1-\beta)\gamma}{(\alpha_I - \alpha_c)\beta(1-\gamma)}.$$

(6)式, (7)式, (8)式, (9)式, そして(26)式より, 投資財と消費財の均衡生産量はそれぞれ

$$X_I^{**} = \psi_{11} \frac{r^{**}}{p} K + \psi_{21} \frac{w^{**}}{p} + \psi_{31} \frac{s^{**}}{p} M, \quad X_C^{**} = \frac{-(1-\alpha_I)r^{**}K + \alpha_I w^{**}}{(\alpha_I - \alpha_c)\beta} - \frac{(\alpha_I - \alpha_R)\gamma s^{**}}{(\alpha_I - \alpha_c)\beta(1-\gamma)} M \quad (27)$$

と, また再生資源の国内均衡生産量および輸入量はそれぞれ

$$R_d^{**} = \frac{1}{1-\gamma} \frac{s^{**}}{q} M, \quad R_m^{**} = -\psi_{12} \frac{r^{**}}{q} K - \psi_{22} \frac{w^{**}}{q} - \psi_{32} \frac{s^{**}}{q} M \quad (28)$$

と求められる。そして, 再資源化される廃棄物の均衡投入量は以下の式を満たすように決定される:

$$M^{**} = \frac{\Phi(\bar{C}, M^{**})}{s^{**}}. \quad (29)$$

**競争均衡経路** (12)式, (18)式, (19)式, (26)式, (27)式から, この経済の競争均衡経路が資本ストック  $K$  と投資財価格  $p$  に関する動学方程式体系として表現される:

$$\dot{K} = \psi_{11} p^{\psi_{11}-1} q^{\psi_{12}} K + \psi_{21} p^{\psi_{21}-1} q^{\psi_{22}} + \psi_{31} p^{\psi_{31}-1} q^{\psi_{32}} M^{**}(p) - \delta K, \quad (30)$$

$$\dot{p} = (\rho + \delta)p - p^{\psi_{11}} q^{\psi_{12}}. \quad (31)$$

ここで  $M^{**}(p)$  は(26)式および(29)式から決定される  $M^{**}$  であり, それは  $p$  に依存する。

**定常状態** この均衡動学経路の定常状態は,  $\dot{K} = \dot{p} = 0$  を満たす  $(\bar{K}^{**}, \bar{p}^{**})$  として定義される。(31)式より, 投資財価格の定常解が次のように求められる。

$$\bar{p}^{**} = \left( \frac{\rho + \delta}{q^{\psi_{12}}} \right)^{\frac{1}{\psi_{11}-1}}. \quad (32)$$

(30)式および(32)式より, 資本ストックの定常解が次のように求められる:

$$\bar{K}^{**} = \frac{\psi_{21} (\bar{p}^{**})^{\psi_{21}-1} q^{\psi_{22}} + \psi_{31} (\bar{p}^{**})^{\psi_{31}-1} q^{\psi_{32}} M^{**}(\bar{p}^{**})}{\delta - \psi_{11} (\rho + \delta)}. \quad (33)$$

したがって, 定常状態は一意的に存在する。

動学体系(30)および(31)を定常状態の近傍で線形近似すると,

$$\begin{bmatrix} \dot{K} \\ \dot{p} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \psi_{11}(\rho + \delta) - \delta & \kappa \\ 0 & (1 - \psi_{11})(\rho + \delta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} K - \bar{K}^{**} \\ p - \bar{p}^{**} \end{bmatrix}, \quad \kappa \equiv \left. \frac{\partial \dot{K}}{\partial p} \right|_{(\bar{K}^{**}, \bar{p}^{**})} \quad (34)$$

を得る。線形動学システム(34)のヤコビ行列式の符号は必ず負になるので<sup>9)</sup>, 2つの特性根は互いに異なる符号を持つ。したがって, 定常状態は鞍点である。

**比較静学** 国際市場における再生資源の取引価格  $q$  が変化したときの, 各経済変数の長期均衡水準に与える影響を見てみよう。(32)式より, 以下の式を得る:

$$\frac{d\bar{p}^{**}}{dq} \frac{q}{\bar{p}^{**}} = \frac{\psi_{12}}{\psi_{11} - 1} = \frac{1 - \beta}{\beta} > 0. \quad (35)$$

したがって, 再生資源の国際価格の上昇は定常状態における投資財価格  $\bar{p}^{**}$  を上昇させる。

(33)式より,

$$\frac{d\bar{K}^{**}}{dq} = \frac{\psi_{21} \psi_{22} (\bar{p}^{**})^{\psi_{21}-1} q^{\psi_{22}-1} + \psi_{31} \psi_{32} (\bar{p}^{**})^{\psi_{31}-1} q^{\psi_{32}-1} M^{**}(\bar{p}^{**})}{\delta - \psi_{11}(\rho + \delta)} \quad (36)$$

を得る。 $\psi_{21} \psi_{22} > 0$  が常に成立する一方、 $\psi_{31} \psi_{32}$  の符号は各生産部門の資本集約度に依存する。 $\alpha_I > \alpha_C > \alpha_R$  すなわち投資財部門が最も資本集約的で、消費財部門、リサイクル部門の順に資本集約度が低くなる場合、 $\psi_{31} \psi_{32} > 0$  が成立する。なお、この場合は  $\psi_{11} > 1$  が成立するので、(36)式の分母の符号は負となる。 $\alpha_I < \alpha_C < \alpha_R$  すなわちリサイクル部門が最も資本集約的で、消費財部門、投資財部門の順に資本集約度が低くなる場合も、 $\psi_{31} \psi_{32} > 0$  が成立する。ただし、この場合は  $\psi_{11} < 0$  が成立するので、(36)式の分母の符号は正となる。したがって、再生資源の国際価格の上昇は、 $\alpha_I > \alpha_C > \alpha_R$  が成立するならば定常状態における資本ストック  $\bar{K}^{**}$  を減少させるが、 $\alpha_I < \alpha_C < \alpha_R$  が成立する場合には  $\bar{K}^{**}$  を増加させる。

(26)式、(29)式、(32)式より、以下の式が導かれる：

$$\frac{dM^{**}}{dq} = \frac{dM^{**}}{ds} \left( \frac{\partial s^{**}}{\partial q} + \frac{\partial s^{**}}{\partial p} \frac{d\bar{p}^{**}}{dq} \right) = \frac{M^{**}}{\Phi_M - s^{**}} \left( \psi_{32} + \psi_{31} \frac{1-\beta}{\beta} \right) \frac{s^{**}}{q}. \quad (37)$$

ここで  $\Phi_M \equiv \partial \Phi / \partial M$  である。 $\Phi(C, M)$  は凸関数であり、また(29)式が成立するので、 $\Phi_M > s^{**}$  である。

$$\psi_{32} + \psi_{31} \frac{1-\beta}{\beta} = \frac{1}{1-\gamma} + \frac{(\alpha_I + \alpha_C - 2\alpha_R)(1-\beta)\gamma}{(\alpha_I - \alpha_C)\beta(1-\gamma)}$$

が成立するので、 $\alpha_I > \alpha_C > \alpha_R$  もしくは  $\alpha_I < \alpha_C < \alpha_R$  ならば、再生資源の国際価格の上昇は定常状態における再資源化廃棄物の量を増加させる。

(28)式および(37)式より、

$$\frac{dR_d^{**}}{dq} = \frac{s^{**} M^{**}}{(1-\gamma)q^2} \left[ \left( 1 + \frac{1}{\Phi_M - s^{**}} \right) \left( \psi_{32} + \psi_{31} \frac{1-\beta}{\beta} \right) \right] \quad (38)$$

を得る。 $\alpha_I > \alpha_C > \alpha_R$  もしくは  $\alpha_I < \alpha_C < \alpha_R$  ならば、この式の大括弧内の符号は必ず正となる。したがって、この条件が成立する下では、再生資源の国際価格の上昇は定常状態における再生資源の国内生産量を増加させる。

## 5 おわりに

本稿は、増加を続ける循環資源や中古品の貿易の現状を受け、リサイクル活動および循環資源の貿易を明示的に考慮に入れた理論モデルの構築を試みた。リサイクリングの経済理論においては、最近になって貿易を考慮に入れた研究が本格的に始まっているが、いずれも静学モデルの枠組みでの分析である。これに対して本稿では、資本蓄積による経済成長のプロセスを考慮に入れた開放経済の動学的一般均衡モデルを提示し、その分析を行った。しかしながら、本稿ではモデルの提示と若干の準備的考察をしたのみで、得られた結果の政策的含意の議論も含めた本格的な分析を行ったとは言いがたい。さらなる分析、特に再生資源の貿易が行われている場合と行われていない場合との比較は非常に重要であり、今後の研究課題としたい。

(やなせ あきひこ・本学経済学部准教授)

## 〔注〕

- 1) 2007年8月に著者たちが行った聞き取り調査による。
- 2) 小島 (2007) は、アジア諸国の主な再生資源の輸入量を1990年と2006年とで比較し、日本を除いて全体的に輸入量が増加していること、2006年の中国の輸入量、特に古紙 (1962万トン)、廃プラスチック (586万トン)、銅スクラップ (494万トン) が他の国と比べてかなり大きな数字となっていることを確認した上で、このような再生資源の貿易量拡大の要因として、(i) リサイクル法制の整備に伴う先進国の再生資源回収の増加、(ii) 生産拠点の先進国からアジア地域への移転に伴う先進国内での再生資源の余剰、(iii) 経済発展の過程にあるアジア地域における資源需要の拡大、を挙げている。中古品に関しては、貿易統計からその数量を把握するのは容易ではないが、電気電子機器廃棄物 (e-waste) の貿易が新たな問題となっているのは事実である。これは、中古品として海外に輸出される家電や廃PCが、輸出先での不適正な処理の結果、深刻な環境汚染を発生させるという問題である。
- 3) ただし、後で述べるように、本モデルでは規模に関して収穫不変の生産技術を仮定するので、各生産部門における企業利潤はゼロとなり、したがって配当所得は発生しない。
- 4) 単位を適当にとることにより、 $A_I = [\alpha_I^{\alpha_I} (1 - \alpha_I)^{1 - \alpha_I}]^{-1}$ としている。
- 5) 単位を適当にとることにより、 $A_C = \{[\alpha_C^{\alpha_C} (1 - \alpha_C)^{1 - \alpha_C}]^{\beta} (1 - \beta)^{1 - \beta}\}^{-1}$  および  $A_R = \{[\alpha_R^{\alpha_R} (1 - \alpha_R)^{1 - \alpha_R}]^{\gamma} (1 - \gamma)^{1 - \gamma}\}^{-1}$  としている。
- 6) 本モデルでは、再資源化されない残りの廃棄物が外部不経済を発生することはないと仮定する。
- 7) 小国開放経済の最適成長モデルにおいては、家計の時間選好率は世界利率に等しいと仮定される。その理由は以下のように説明される (Blanchard and Fischer (1989, Ch.2) や Barro and Sala-i-Martin (1995, Ch.3) も参照)。もし  $\rho > r$  であるとすると、消費は時間を通じて増加し続け、最終的には資産を食い潰してしまう。逆に  $\rho < r$  であるとすると、資産が時間を通じて増加し続け、この国はもはや小国ではなくなってしまう。
- 8) 変数の上のドット記号は、その変数の時間に関する微分を表す。
- 9)  $\alpha_I < \alpha_C$  のとき、 $\psi_{11} < 0$  なので、ヤコビ行列式の符号は負となる。 $\alpha_I > \alpha_C$  のときは  $\psi_{11} > 0$  となるが、 $\alpha_I$  は0と1の間の値を取るなので、 $\psi_{11} > 1$  が成立する。したがって、この場合もヤコビ行列式の符号は負となる。

## 〔参考文献〕

- [1] Barro, R.J. and X. Sala-i-Martin (1995), *Economic Growth*, McGraw-Hill.
- [2] Blanchard, O.J. and S. Fischer (1989), *Lectures on Macroeconomics*, MIT Press.
- [3] Conrad, K. (1999), Resource and waste taxation in the theory of the firm with recycling activities, *Environmental and Resource Economics* 14, 217-242.
- [4] Dinan, T.M. (1993), Economic efficiency effects of alternative policies for reducing waste disposal, *Journal of Environmental Economics and Management* 25, 242-256.
- [5] Di Vita, G. (2001), Technological change, growth and waste recycling, *Energy Economics* 23, 549-567.

- [ 6 ] Di Vita, G. (2002), Renewable resources and waste recycling, Note di Lavoro 9.2002, Fondazione Eni Enrico Mattei.
- [ 7 ] Eichner, T. and R. Pethig (2001), Product design and efficient management of recycling and waste treatment, *Journal of Environmental Economics and Management* 41, 109-134.
- [ 8 ] Fullerton, D. and T.C. Kinnaman (1995), Garbage, recycling, and illicit burning or dumping, *Journal of Environmental Economics and Management* 29, 78-91.
- [ 9 ] Grace, R., R.K. Turner, and I. Walter (1978), Secondary materials and international trade, *Journal of Environmental Economics and Management* 5, 172-186.
- [10] Higashida, K. (2006), Trade in recyclable materials and recycling subsidies, mimeo.
- [11] Higashida, K. (2007), The effects of trade in recyclable materials when final goods industry is imperfectly competitive, mimeo.
- [12] Higashida, K. and N. Jinji (2006), Strategic use of recycled content standards under international duopoly, *Journal of Environmental Economics and Management* 51, 242-257.
- [13] Hoel, M. (1978), Resource extraction and recycling with environmental costs, *Journal of Environmental Economics and Management* 5, 220-235.
- [14] Hutala, A. (1997), A post-consumer waste management model for determining optimal levels of recycling and landfilling, *Environmental and Resource Economics* 10, 301-314.
- [15] Lusky, R. (1975), Optimal taxation policies for conservation and recycling, *Journal of Economic Theory* 11, 315-328.
- [16] Pittel, K., J.-P. Amiguesy, and T. Kuhn (2005), Long-run growth and recycling: a material balance approach, mimeo.
- [17] Shinkuma, T. (2007), Extended producer responsibility in a developed country and the effect on international trade, the environment, and social welfare, mimeo.
- [18] Smith, V.L. (1972), Dynamics of waste accumulation: disposal versus recycling, *Quarterly Journal of Economics* 86, 600-616.
- [19] van Beukering, P.J.H. and J.C.J.M. van den Bergh (2006), Modelling and analysis of international recycling between developed and developing countries, *Resources, Conservation and Recycling* 46, 1-26.
- [20] Yohe, G.W. (1979), Secondary materials and international trade: a comment on the domestic market, *Journal of Environmental Economics and Management* 6, 199-203.
- [21] 小島道一 (2007), アジアにおけるリサイクルの国際化, 日本国際経済学会2007年度関東支部大会学術シンポジウム『アジアの地域経済統合と環境問題』報告集。
- [22] 寺園淳 (2005), 日本のリサイクル法制と循環資源の貿易, 小島道一編『アジアにおける循環資源貿易』, アジア経済研究所, 第2章。

〔附記〕

本研究は、文部科学省科学研究費補助金・萌芽研究（課題番号：18653021）の助成を受けている。