

デザイン効果の内部化を伴う リサイクルシステムの動学的性質

Instability in Autonomous Recycling Systems with Design Effect and Its Internalization

西村 一彦*

Kazuhiko NISHIMURA

概 要

本論文では、唯一の消費財を生産する生産者と、消費者が廃棄した消費財をリサイクルして生産者に代替的資源を供給する独占的なりサイクラーが、それぞれ独立した主体である一方、リサイクラーの生産性が、生産者において決定（デザイン）される廃棄物の品質に影響される場合を扱う。限界費用価格規制下の独占的リサイクラーが、廃棄物の品質に応じて、社会的効率性に整合的な対価（限界収入）を支払い、生産者がその支払いを含めた消費財の正味価格を観測しながらデザインを調整する場合、このようなデザイン効果は内部化され得る。しかし必ずしも常に効率性が担保されるわけではない上、均衡状態の動学的性質に関して、必ずしも漸近安定性が担保されるものでもない。さらに本論文では、多様なデザインの存在が、リサイクラーの生産性に悪影響を及ぼす場合を取り上げ、その影響力と生産者数が、均衡状態の動学的性質に与え得る影響について分析し、数値シミュレーションによって分析結果を確認する。

キーワード：リサイクル・デザイン、廃棄物品質の多様性、漸近安定性、数値シミュレーション

1 はじめに

廃棄物問題は、社会的にも大きな関心事となっており、近年ではさまざまな分野からのアプローチがなされている。中でも、リサイクルにかかわる研究は、工学的研究のみならず、社会システムの一部として、経済学的な観点から考察する研究も盛んに行われるようになってきている。リサイクルに対する経済学的分析の分野においては、Smith^[9]や Lusky^[6]などにみられるよう

* 日本福祉大学経済学部助教授

な、異時点配分におけるリサイクルの影響を扱ったものや、Suslow^[10]のような、独占企業の競合相手としてのリサイクルのポテンシャルを扱ったものから、近年では、Fullerton and Kinnaman^[4]などにみられるような、静的一般均衡の枠組みを用いて、リサイクルを含む経済における各種の外部効果や、その内部化策を考察する研究が関心を呼んできた。

リサイクルを含む経済における外部効果としては、廃棄物の発生ないしはその処理に伴って発生する環境負荷に起因するもののほか、近年においては、廃棄物のリサイクルしやすさが生産段階の製品デザインで決まるにもかかわらず、この種のデザインが市場で取引されないことに起因する外部効果が注目されている。Fullerton and Wu^[5]や Choe and Fraser^[11]などにおいて、リサイクルを考慮した製品デザイン（リサイクル・デザイン）の効果をとり込んだモデルが提起されたが、これに対し、西村^[11, 8]や Eichner and Pethig^[3]によって、リサイクル・デザイン市場の非存在や、それによって生じる外部効果とその内部化策、さらには、かかる外部効果による経済均衡の不安定化の可能性などが示されてきた。

リサイクル・デザイン（以下、デザインと記す）には、消費者には直接的に影響しないが、リサイクラーの生産性には影響を与え、その調節は生産者においてなされるという特徴がある。デザインの限界費用が公的情報とならない限り、デザインは、市場メカニズムにおいて適切な調節はなされない。しかし、デザインの限界費用が公的情報となるためには、デザイン自体が市場で取引されるか、あるいは品質の異なる財市場が同時に存在することで、少なくともそれが間接的に明らかになる必要がある⁽¹⁾。ところが、デザインの影響が大きくても、デザインを構成する一つ一つの特性については取引費用が相対的に大きくなり、実際に市場取引が行われるとは考え難い⁽²⁾。また、多様なデザインの存在は、消費者がデザインに影響されない限り、最適でない財の市場取引の存在を意味する。つまり、近視眼的な市場メカニズムでは、結局のところ、デザインは適切に調整されないということになる。

しかしながら、生産者にとって、デザインを調節しようというインセンティブ自体が存在しない訳ではない。もし、リサイクラーが、廃棄物をその品質相応の価格で消費者から引き取るなら⁽³⁾、戦略的な生産者は、消費後の財（廃棄物）の取引価格を観測しながら、財の正味価格が戦略的に最も有利（安価）となるように、廃棄物の品質を決定付けるデザインを調整するということが十分考えられる⁽⁴⁾。そこで、本論文においては、このような、生産者によるデザインの調整行動を含んだ形のモデルにおいて、社会的効率性が自律的に得られるかどうかという問題を、動学的な観点から分析することにしたい。

(1) 例えば、Dreze and Hagen^[2]を参照。

(2) デザインは、それを構成する特性の度合いで表される。デザインを取引する場合、実際的には特性が取引の対象となる。

(3) 本論文では、生産者が決めるデザインは、リサイクラーにとっての廃棄物の品質と同義である。

(4) 既往の文献においては、廃棄物の取引までを考慮した財の生産行動は扱われていない。Mainwaring^[7]はボランタリーなリサイクルの動学を扱ったが、デザインや品質を扱ったものではない。

本研究においては、既往の研究に倣い、基本的に三部門からなる一般均衡モデルを用いている。多様なデザインの存在を扱う前に、まず、各生産者が一斉に同じデザインの財を生産する場合を考える。この場合、一様なデザインの財のみが同時に存在することになり、消費者は、かかる財を消費した後、ある一定の品質の（一様な）廃棄物を排出（生産）することになる。一方、リサイクラーは、廃棄物を品質に関係なくすべて利用して二次素材を生産する。リサイクラーは、このように独占的な存在ではあるが、社会的効率性を担保する意味で、ここでは限界費用規制下にあるものとする⁽⁵⁾。生産者においては、労働のみから生産される一次素材と、それと代替的な二次素材から、唯一の消費財を競争的環境において生産する。ただし、各生産者は、消費財の限界費用と廃棄物の引き取り価格の差である正味の消費財価格を最小化するべく、デザインを一斉に同様に調整する。

つづいて、上記のモデルに対し、多様なデザインの存在を扱うための変更を加える。プロセス工学に鑑みれば、リサイクラーは、廃棄物の平均的な品質が高いほど生産性は高くなるが、品質が多様であるほど逆に生産性は低下すると考えられる。そこで、本研究においては、リサイクラーの生産性に対して、廃棄物の品質の平均がポジティブに影響する場合、分散はネガティブに影響すると仮定した。一方、生産者においては、ある一つの戦略的な生産主体の存在を仮定し、その生産主体自身が占めるシェアの範囲の消費財についてのみ、デザインの調整を行うものとした。また、その結果として（廃棄物の取引価格を含めた）消費財の正味価格が低下した際には、その他の生産主体が直ちに追隨して同じデザインを採用するものとした。リサイクラーにおいては、限界費用規制に基づき、任意の品質の廃棄物について、その限界収入を取引価格とするものとした。

本論文は、以上の二つのモデルを用いて、生産者が消費財のデザインを社会的に効率的なレベルに調節できるかどうかを、動学的な観点から考察するものである。なお、本稿の構成は以下の通りである。まず、第2節において、戦略的な生産者が、廃棄物の取引価格を観測しながら、消費財の正味価格が戦略的に最も有利となるようにデザインを調整する基本モデルを導入し、それが、一階条件の範囲においては、社会的効率性を実現可能であることを示し、さらに、均衡状態が漸近安定（以下、単に安定と記す）となるための条件を明らかにする。また、均衡状態において、消費財の正味価格の極小値を与えるデザインが、社会的にも効率的なものとなることを、数値計算によって確認する。続く第3節では、廃棄物の品質の平均および分散がリサイクラーの生産性に影響するモデルを導入し、一階条件の範囲においては、社会的最適性（効率性）を実現可

(5) このようなりサイクラーの独占性は、一種類の消費財に対して一つのリサイクラーが存在するということに対応している。例えば、テレビは多くのメーカーが生産しているが、メーカーごとにリサイクラーが存在するのではなく、廃棄テレビ全体に対してリサイクラーが一つ存在するという場合がこれに相当する。このように、リサイクリング技術には通常ある程度の規模（範囲）の経済性がある（あるいは、大きな初期費用が必要）と考えられ、異なる品質の廃棄物ごとに異なるリサイクラーが存在するとは想定しにくい。

能であることを確認する。一方、デザイン調節に積極的な生産者のシェアや、廃棄物品質の分散のリサイクラーの生産性に与える影響力が、安定性の条件に影響を及ぼすことを示す。さらに、安定性の担保される範囲を数値計算において明らかにする。第4節は、得られた結果のまとめとその考察に充てる。

2 基本モデル

2.1 デザイン効果とその内部化

本研究が対象とする基本モデルの概略を図1に示す。消費財は、労働および二種類の素材から生産されるものとする。二種類の素材はそれぞれ一次素材、二次素材と呼ぶが、一次素材の方は労働のみから生産されるため、消費財は労働と二次素材から生産されるとみることができる。したがって、生産者全体が生産する消費財の数量を $x \in \mathbb{R}_+$ 、生産者全体に対する労働投入量を $l \in \mathbb{R}_+$ 、二次素材の投入量を $y \in \mathbb{R}_+$ と書くとすれば、生産者の生産関数は、完全競争を反映して次のような一次同次関数で表すことができる。

$$x = X(y, l) \quad (1)$$

生産者は、消費財の生産と同時にデザインも決定する。消費財のデザインは、消費財がやがて廃棄物となっても保存され、リサイクラーの生産性に影響を及ぼすことになる。つまり、デザインは、生産者がリサイクラーに対して提供するサービスの一種である。デザインは J 種類の特性から構成されるとすれば、消費財のデザインは $s \in \mathbb{R}^J$ と書ける。デザインは、消費財と同様に、労働と二次素材の投入量で決まるものとする。ここでは、生産者を構成するすべての生産主体が同一であるものとし、各生産主体が決定するデザイン量は同一で、その生産関数は次のような y, l に関する零次同次関数 $S: \mathbb{R}^2 \times \mathbb{R}^J$ で表されるとする。

$$s = (s_1, \dots, s_J) = (S_1(y, l), \dots, S_J(y, l)) = S(y, l) \quad (2)$$

需要と供給が一致する状態においては、二次素材の生産量は y と一致し、また、消費者における環境排出が存在しないため、消費財の廃棄量は消費財の消費量 x と一致する。このときの労働投入量を $k \in \mathbb{R}_+$ とすれば、リサイクラーの生産関数は次のように表すことができる。

$$y = \begin{cases} 0 & k < \bar{k} \\ Y(x, k; s) & k \geq \bar{k} \end{cases} \quad (3)$$

この生産関数 Y においては、 k が十分に大きな値 \bar{k} 以上の場合においてのみ生産がなされる。つまり、大きな固定費用を伴うために、リサイクラーは独占企業となる。ただし、 $k \geq \bar{k}$ である場合、 Y は x, k に関して一次同次であるものとする。また、各々のデザイン特性 $s_j (j = 1, \dots, J)$ は、リサイクラーにおいて市場取引のインセンティブが存在するほどの影響力はないものとする。このような場合、 s はリサイクラーの調整変数とならない。

消費者全体の状態は、ある厚生加重の下での社会厚生として評価ができるものとする。ここでは、社会厚生 $u \in \mathbb{R}$ を、次のような規範的代表消費者の効用関数（凹関数）で表す。

$$u = U(x) \quad (4)$$

また、社会全体の資源量（労働量）を R とする．すなわち、次の式が成立する．

$$R = k + l \quad (5)$$

式 (1-5) より、社会厚生を最大化する状態を規定することができる．次のラグランジアン \mathcal{L} を考える．ただし、 $\lambda_x, \lambda_s = (\lambda_{s_1}, \dots, \lambda_{s_j})^T, \lambda_y, \lambda_R$ はラグランジ乗数とする．

$$\mathcal{L} = U(x) + \{x - X(y, l)\} \lambda_x + \{s - S(y, l)\} \lambda_s + \{y - Y(x, k; s)\} \lambda_y + \{R - k - l\} \lambda_R$$

これより、次の一階条件を得る．

$$U_x + \lambda_x - Y_x \lambda_y = 0 \quad (6)$$

$$-X_y \lambda_x - S_y \lambda_s + \lambda_y = 0 \quad (7)$$

$$-X_l \lambda_x - S_l \lambda_s - \lambda_R = 0 \quad (8)$$

$$\lambda_s - Y_s \lambda_y = 0 \quad (9)$$

$$-Y_k \lambda_y - \lambda_R = 0 \quad (10)$$

ただし、次のように定義する．

$$S_y = \left(\frac{\partial S_1}{\partial y}, \dots, \frac{\partial S_l}{\partial y} \right), \quad S_l = \left(\frac{\partial S_1}{\partial l}, \dots, \frac{\partial S_l}{\partial l} \right), \quad Y_s = \left(\frac{\partial Y}{\partial s_1}, \dots, \frac{\partial Y}{\partial s_j} \right)^T$$

上述のようにリサイクラーにおいてデザイン s が調整変数とならない場合、すべての s_j ($j = 1, \dots, J$) に関する取引市場は存在しない．また、(リサイクラーにとって異なる品質 s の廃棄物は完全代替物であるから) 均衡状態においては価格の異なる二つのデザインが同時に存在することはない^[8]ので、間接的にデザインの帰属価格が明らかになることもない．このような場合、デザイン効果は通常の経済システムにおいては外部性となる．

そこで、このようなデザイン効果の内部化行動を含むモデルを考える．これは主に次の仮定から成り立っている．

仮定 1 基本モデル

1. リサイクラーは、廃棄消費財に対する限界収入を、その引取り価格とする．
2. 生産者は、廃棄消費財の引取り価格を含めた消費財の正味価格が極小となるデザインを選択する．
3. 生産者は、すべての消費財の品質を一斉に（均一に）調節する．

仮定 1. 1 は、リサイクラーが限界費用価格規制下の独占企業であることに対応している．また、仮定 1. 2 - 1. 3 により、さまざまな品質が同時に存在することはなく、それゆえに、リサイクラーは常に一種類の廃棄消費財の引取り価格のみを提示することになる．

このモデルの均衡状態を考える．デザインが s であるときの消費財の価格を $\phi(s)$ 、品質が s であるときの廃棄物の価格を $\omega(s)$ 、二次素材の価格を ρ 、賃金率を δ とかくことにする．まず、リサイクラーにおいては、限界費用価格規制および仮定 1. 1 により、次項が成立する．

$$\rho Y_x(x, k; s) = \omega(s) \quad (11)$$

$$\rho Y_k(x, k; s) = \delta \quad (12)$$

生産関数 $Y(x, k; s)$ の x, k に関する一次同次性より次式が恒等的に成立する (オイラーの定理)。

$$Y(x, k; s) = Y_x(x, k; s)x + Y_k(x, k; s)k$$

したがって、式 (11)–(12) より、次項を得る。

$$\rho Y(x, k; s) = \omega(s)x + \delta k$$

これが任意の s に関して成立することから、次項を得る。

$$\rho Y_s(x, k; s) = \omega_s(s)x \quad (13)$$

ただし、次のように定義する。

$$\omega_s(s) = \left(\frac{\partial \omega(s)}{\partial s_1}, \dots, \frac{\partial \omega(s)}{\partial s_j} \right)^T$$

生産者においてはデザイン s 、価格 $\phi(s)$ 、 ρ 、 δ を所与とした利潤最大化を図る。

$$\max_{y, l} \phi(s)X(y, l) - \rho y - \delta l \quad \text{s.t. } s = S(y, l)$$

これより次の一階条件を得る。

$$\frac{\phi(s)X_y - \rho}{\phi(s)X_l - \delta} = \frac{S_y}{S_l}$$

生産者における消費財の生産関数は一次同次、デザインの生産関数は零次同次あることから、次式が恒等的に成立する。

$$X(y, l) = X_y(y, l)y + X_l(y, l)l$$

$$0 = S_y(y, l)y + S_l(y, l)l$$

したがって、 $\phi(s)$ は、次項を恒等的にみたさなくてはならない。

$$\phi(s)X(y, l) = \rho y + \delta l \quad (14)$$

これより、次項が成立する。

$$\phi(s)X_y(y, l) + S_y(y, l)\phi_s(s)x = \rho \quad (15)$$

$$\phi(s)X_l(y, l) + S_l(y, l)\phi_s(s)x = \delta \quad (16)$$

生産者は、仮定 1. 2 - 1. 3 に基づき、消費財の正味価格をデザイン s を通じて最小化しようとする。

$$\min_s \phi(s) - \omega(s)$$

ただし、生産者はリサイクラーの提示価格 $\omega(s)$ をモニターしながら s を調整することになるので、大域的な最小化を行う際には結局すべての実行可能なデザインを試すことを必要とする⁽⁶⁾。仮定 1. 2 にしたがって、極小解を得る場合の一階条件として次項が成立する⁽⁷⁾。

(6) 生産者がリサイクラーの生産関数を知らない以上、すべての可能性を試すしかない。一方、生産者とリサイクラーが一体である場合には、生産者は、リサイクル技術の生産関数を知っているので、大域解を計算することが可能で、実際に試してみる必要はない。

(7) 単谷 (single valleyed) である場合には、当然、大域解を得る。

$$\phi_s(s) - \omega_s(s) = 0 \quad (17)$$

規範的代表的消費者は、予算 B を制約条件とする効用最大化を図る。これをラグランジ形式で表すと次のようになる。

$$\mathcal{L} = U(x) + \{B - \phi(s)x + \omega(s)x\}\lambda$$

これより、次の一階条件を得る。

$$U_x - \{\phi(s)x - \omega(s)\}\lambda = 0 \quad (18)$$

生産者が、消費財の正味価格を観測しながら品質の調節を行うこのモデルにおいては、均衡状態の一階条件として、式 (11–13, 15–18) を得るが、これは、社会厚生最大化の一階条件式 (6–10) と一致する⁽⁸⁾。つまり、デザイン効果の内部化行動を含む基本モデルにおいては、デザイン効果は内部化され得る。特に $\phi(s) - \omega(s)$ が s に関して単谷である場合には、均衡状態では社会的な最適性（効率性）が実現されるが、多峰である場合には、局所的な準最適となる可能性がある。

2.2 均衡の動学的性質

はじめに、デザイン s をある任意の値に定めた場合、競争均衡が大域的に安定であることを示す。生産者の単位費用関数を、 ρ 、 δ に関する狭義凹関数 $\Phi(\rho, \delta)$ と表すことにする。このとき、一次同次の生産関数においては価格と単位費用が一致することから、次項を得る。

$$\phi = \Phi(\rho, \delta), \quad \Phi_\rho > 0, \quad \Phi_{\rho\rho} < 0 \quad (19)$$

リサイクラーにおいても同様に、二次素材の価格 ω 、 δ に関する狭義凹である単位費用関数で表すことができるが、これを次のような逆関数を用いて表すことにする。当然、これは ρ に関して狭義凸関数となる。

$$\omega = \Omega(\rho, \delta), \quad \Omega_\rho > 0, \quad \Omega_{\rho\rho} > 0 \quad (20)$$

ここで、ある x に対する、リサイクラーにおける二次素材の供給量を y_Y 、生産者における需要量を y_X と書く。それぞれの単位費用関数においてシェファードの補題を適用すれば、次項を得る。

$$\Phi_\rho(\rho, \delta) = y_X/x$$

$$\Omega_\rho(\rho, \delta) = y_Y/x$$

次に、 y と ρ に関するワルラス模索過程を考える。つまり、ある x に対してリサイクラーの供給 y_Y よりも生産者の需要 y_X 方が超過している場合には ρ が上がり、不足している場合には下がるというプロセスを考える。これは、調整速度 $c > 0$ を用いて、次のように表すことができる。

$$\dot{\rho} = Z(\rho, \delta) = c\{\Phi_\rho(\rho, \delta) - \Omega_\rho(\rho, \delta)\}$$

式 (19–20) より、直ちに次項を得る。

$$Z_\rho(\rho, \delta) = c\{\Phi_{\rho\rho}(\rho, \delta) - \Omega_{\rho\rho}(\rho, \delta)\} < 0 \quad (21)$$

(8) このとき、 $\lambda_X/\lambda = \phi(s)$ 、 $\lambda_S/\lambda = \omega_s x$ 、 $\lambda_Y/\lambda = \rho$ 、 $\lambda_R/\lambda = -\delta$ となる。

したがって、賃金率 δ を基準化した場合、 ρ は大域的に安定となり、式 (19-20) より価格 ρ 、 ϕ 、 ω は、均衡が存在すれば一意であり、式 (21) よりそこに大域的に収束する。

以上の結果から、生産者が決定する任意のデザインに対し、ほかのすべての状態が競争均衡において決定することがわかる。したがって、仮定 1 による基本モデルにおいては、あるデザイン s' に対して状態が決定し、生産者は、その結果得られる価格 $\rho(s')$ 、 δ を所与として、消費財の正味価格 $\phi(s; s') - \omega(s; s')$ を s に関して極小化するような新たなデザイン量 s'' を決定する。これは次のように表すことができる。

$$s'' = \tau(s') = \underset{s}{\operatorname{argmin}} \{F(s; s') : \phi(s; s') - \omega(s; s')\} \quad (22)$$

つまり、基本モデルの均衡の動学的性質は、均衡解 s^* の近傍における、式 (22) によるプロセス τ によって規定される。

プロセス $\tau: s' \rightarrow s''$ が s^* の近傍で安定的であるためには、まず、 s^* が $F(s; s^*)$ における s に関する極小解となっていることが必要である。つまり、 $s = s' = s^*$ における凸性を担保するために次のヘッセ行列が正定値でなくてはならない。

$$F_{SS}(s^*; s^*) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 F}{\partial s_1^2} & \cdots & \frac{\partial^2 F}{\partial s_1 \partial s_j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial^2 F}{\partial s_j \partial s_1} & \cdots & \frac{\partial^2 F}{\partial s_j^2} \end{bmatrix} = \phi_{SS}(s^*; s^*) - \omega_{SS}(s^*; s^*) \quad (23)$$

一階条件は、次のように表される。

$$F_s(s^*; s^*) = \phi_s(s^*; s^*) - \omega_s(s^*; s^*) = 0 \quad (24)$$

次に、プロセス τ の s^* における局所的安定性を調べる。式 (24) を s^* の近傍で全微分する。ただし、 $ds = (ds'_1, \dots, ds'_j)^T$ 、 $ds = (ds'_1, \dots, ds'_j)^T$ とする。

$$F_{SS} ds + F_{SS'} ds' = 0$$

したがって、プロセス τ が s^* で局所的に安定であるためには、次の行列の固有値が単位円の内部にあることが必要十分となる。(当然、 $F_{SS}(s^*; s^*)$ が正定値なら正則である。)

$$\left. \frac{ds''}{ds'} \right|_{s^*} = \tau_{s'}(s^*) = \left. \frac{ds}{ds'} \right|_{s^*} = -F_{SS}^{-1} F_{SS'} \quad (25)$$

2.3 数値例

本節では、上述の基本モデルの動学的性質を、具体的な関数形を用いて検証する。扱いやすさを考慮し、次のようなものを採用した。

$$X(y, l) = y^\alpha l^{1-\alpha} \quad (26)$$

$$S(y, l) = l/x = y^{-\alpha} l^\alpha \quad (27)$$

$$Y(x, k; s) = x^\beta k^{1-\beta} k^{1-\beta} s^\epsilon \quad (28)$$

$$U(x) = x \quad (29)$$

この数値例においては、デザイン s が生産量単位あたりに投入される労働量で表される、つま

り、式(2)が(27)のように $s = l/x$ と表される場合を扱う。付録に式(26-29)からなるこのモデル特有の性質を示しておく。デザインがこの例のように一次元の特性で表すことができる場合には、式(25)は次のように表すことができる。

$$\left. \frac{ds''}{ds'} \right|_{s^*} = \tau_{s'}(s^*) = \left. \frac{ds}{ds'} \right|_{s^*} = -F_{SS}^{-1}F_{SS'} = \frac{-\phi_{SS'} + \omega_{SS'}}{\phi_{SS} - \omega_{SS}} \quad (30)$$

表1に、採用した4つのケースについてのパラメータを示す。ケース1aと1bは、 ϵ の値が違うだけで、その他のパラメータは同じである。ケース2aと2bについても同様である。表には、それぞれのケースについての均衡デザイン s^* およびその際の社会厚生レベル u^* を示してある。また、図3-4には、各デザイン s に対する社会厚生レベル u の関係を示してある。均衡デザイン s^* で社会厚生レベルがピークとなることがわかる。

各ケースの均衡デザイン $s_{1a}^*, s_{1b}^*, s_{2a}^*, s_{2b}^*$ それぞれにおける安定性は表2にまとめてある。ケース1aと1bにおいては、1aの方が社会厚生レベルが高いにも関わらず、均衡は不安定である一方、社会厚生レベルの低い方の1bの均衡は安定であるということが確認できる。したがって、 ϵ が s_{1a}^* 付近で0.6、 s_{1b}^* 付近では0.2となるような場合、社会厚生レベルは双峰となるが、高い方の峰は不安定で、低い方の峰が安定であることになり、システムが準最適な状態に留まる可能性が高いといえる。ケース2aと2bにおいては、2aの方が社会厚生レベルが高いが、2bの方はそもそも $F(s; s^*)$ が s に関して凸でなく、正味価格の極小値として s の解を得ることができないようなケースである。

3 リサイクル・デザインの多様性

3.1 複数のデザインを扱うモデル

上述の基本モデルおよびその分析は、すべての生産者が消費財のデザインを一斉に同じように調節するという、あまり現実的とはいえない仮定に立脚している。そこで、ここではその点を緩和し、次のようなモデルを考えることにする。

仮定2 複数のデザインを扱うモデル

1. リサイクラーは、廃棄消費財に対する限界収入を、引取り価格とする。
2. ある意欲的生産者 i は、廃棄消費財の引取り価格を含めた消費財の正味価格が極小となるデザインを選択する。
3. 生産者 i の生産する消費財の正味価格が、他の生産者のそれよりも小さい場合、他のすべての生産者は、デザインを、この生産者のそれと一致させる。
4. リサイクラーにおける廃棄消費財の品質は、消費財のデザインの平均とその分散で決まる。

基本モデルとの大きな違いは、結果的にはすべての生産者が一斉に同じデザインを選択するに

せよ、デザイン選択の際に、ある生産者 i の観測する廃棄消費財の引取り価格が、自身の生産する消費財のデザインだけを変化させたときのそれであるという点である。仮定 2.4 は、廃棄消費財の品質の多様性がリサイクラーの生産性に与える影響の仕方を与える。

以下では、不要な複雑化を避ける意味で、デザインが次元の特性で表すことができる場合に焦点を絞ることにする。生産者全体は n 個の等しい生産者から成り立っているものとし、生産者全体が s' というデザインを選択しているとき、 $1/n$ のシェアをもつある生産者 i が σ というデザインを選択する場合を検討する⁽⁹⁾。さらに、多様なデザインの存在、つまりデザインの分散は廃棄消費財の品質に負の影響を及ぼすものとし、その効果をパラメータ $\eta \geq 0$ で表す。また、 ξ は生産者 i による消費財の生産量、 x' はその他の生産者による生産量を表すものとする。各生産者が等しいことから、 $\xi = x/n = x - x'$ である。このとき、仮定 2.4 にしたがって、生産者 i のデザイン σ およびその他の生産者によるデザイン s' と、廃棄消費財の品質 s との関係が、次のような関数 R で表すことができるものとする。

$$s = R(\sigma, \xi, \eta; s', x') \\ = \frac{\sigma \xi + s' x'}{\xi + x'} - \eta \left\{ \left[\sigma - \frac{\sigma \xi + s' x'}{\xi + x'} \right]^2 \frac{\xi}{\xi + x'} + \left[s' - \frac{\sigma \xi + s' x'}{\xi + x'} \right]^2 \frac{x'}{\xi + x'} \right\}$$

とくに、生産者が i のみ ($n = 1, \eta = 0$) の場合、 $s = R(\sigma, x, 0; s', 0) = \sigma$ となる。

デザインがリサイクラーにとって望ましいもの (グッズ) である場合にはデザインの多様性は望ましくない、すなわち $\eta > 0$ であるが、デザインが望ましくないもの (バズ) である場合にもデザインの多様性は望ましくないものとする。その際には $\eta < 0$ となる。とくに、デザインがリサイクラーにとって望ましい場合には $\omega_s > 0$ 、望ましくない場合には $\omega_s < 0$ であるから、結局、次項が成立する。

$$\eta \omega_s > 0 \tag{31}$$

モデルの均衡状態においては、生産者 i が選択するデザイン σ は、その他の生産者が選択しているデザイン s' と一致し、 $\sigma = s' = s^*$ である。このとき、以下を得る。

$$R_\xi(s^*, \xi, \eta; s^*, x') = 0 \tag{32}$$

$$R_\sigma(s^*, \xi, \eta; s^*, x') = \frac{\xi}{x} \tag{33}$$

$$R_{\sigma\sigma}(s^*, \xi, \eta; s^*, x') = -R_{\sigma s'}(s^*, \xi, \eta; s^*, x') = -\frac{2\eta\xi x'}{x^2} \tag{34}$$

$$R_{\xi\sigma}(s^*, \xi, \eta; s^*, x') = -R_{\xi s'}(s^*, \xi, \eta; s^*, x') = \frac{x'}{x^2} \tag{35}$$

$$R_{\xi\sigma\sigma}(s^*, \xi, \eta; s^*, x') = -R_{\xi\sigma s'}(s^*, \xi, \eta; s^*, x') = \frac{2\eta x' \{\xi - x'\}}{x^3} \tag{36}$$

(9) ここでは、一応 $n \in \mathbb{N}$ とするが、これは必ずしも必須ではなく、以下の議論は $n \in \mathbb{R}$ でも問題はない。その際には、例えば $n = 2.5$ は生産者 i のシェアが $1/n = 40\%$ という意味に解釈できる。

仮定 2.1 にしたがって、リサイクラーは、この戦略的生産者 i の手になる廃棄消費財に対する限界収入を、この廃棄消費財の引取り価格 θ とする。定義により $x = \xi + x'$ であるから、 θ は次のように表すことができる。

$$\theta = \rho \frac{\partial Y(x, k, s)}{\partial \xi} = \rho Y_x + \rho Y_x + R_\xi(\sigma, \xi, \eta; s', x') \quad (37)$$

式 (32) より、モデルの均衡状態 ($\sigma = s' = s^*$) においては、次項を得る。

$$\theta = \rho Y_x(x, k, s^*) = \omega$$

これは、式 (11) と均衡状態において一致する。

一方、これ以外の、リサイクラー、生産者、消費者における諸事情は、前述の基本モデルとまったく変わらない。したがって、仮定 2-3 から成るモデルにおいては、均衡状態の一階条件が、仮定 1 からなる基本モデルにおいて成立する均衡状態の一階条件 (11-18) に一致する。ゆえに、仮定 2 のような、一部の生産主体が個別にデザインを決定するモデルにおいても、基本モデルと同様に、均衡状態においては社会厚生最大化の一階条件をみたすことになる。

3.2 均衡の動学的性質

まず、前節と同様に、全体があるデザイン量 s' であるときに、次のデザイン量 s'' をモデルがどのように決定するかを記述する。

$$s'' = T(s') = \operatorname{argmin}_\sigma \{f(\sigma, s') : \phi(\sigma; s') - \theta(\sigma; s')\} \quad (38)$$

以下では、式 (38) による動的プロセス T の均衡解 s^* における、 $f_{\sigma\sigma}$ や $T_{s'}$ の値によってその安定性を調べる。式 (13) より、次項を得る。

$$\rho Y_{xs}(x, k, s) = \omega_s \quad (39)$$

$$\rho Y_{ss}(x, k, s) = \omega_{ss}x \quad (40)$$

式 (37) より、式 (13) および (39-40) を用いて、次項を得ることができる。

$$\begin{aligned} \theta_\sigma(\sigma; s') &= \rho Y_{xs}R_\sigma + \rho Y_{ss}R_\sigma R_\xi + \rho Y_s R_{\xi\sigma} \\ &= \omega_s \{R_\sigma + xR_{\xi\sigma}\} + \omega_{ss}xR_\sigma R_\xi \end{aligned}$$

さらに、 $\omega(s; s')$ であることに注意しつつ、式 (32-36) を用いると、結局、次項を得る。

$$\begin{aligned} \theta_{\sigma\sigma'}(s^*; s^*) &= \omega_{ss'} + \omega_{ss}R_{s'} + \omega_s \{R_{\sigma\sigma'} + xR_{\xi\sigma\sigma'}\} + \omega_{ss}xR_\sigma R_{\xi\sigma'} \\ &= \omega_{ss'} + \left\{1 - \frac{1}{n}\right\}^2 \{2\eta\omega_s + \omega_{ss}\} \end{aligned} \quad (41)$$

$$\begin{aligned} \theta_{\sigma\sigma}(s^*; s^*) &= \omega_{ss}R_\sigma + \omega_s \{R_{\sigma\sigma} + xR_{\xi\sigma\sigma}\} + \omega_{ss}xR_\sigma R_{\xi\sigma} \\ &= \omega_{ss} - \left\{1 - \frac{1}{n}\right\}^2 \{2\eta\omega_s + \omega_{ss}\} \end{aligned} \quad (42)$$

正味価格 $f(\sigma, s^*)$ の s に関する凸性、すなわち、 $f_{\sigma\sigma}(s^*; s^*)$ の符号を確認しよう。これは、 $\sigma = s$ であるとき $\phi_{ss}(s; s') = \phi_{\sigma\sigma}(\sigma; s')$ であることを用いれば式 (42) より次のように表すことができる。

$$f_{\sigma\sigma}(s^*; s^*) = \phi_{ss} - \omega_{ss} + \left\{1 - \frac{1}{n}\right\}^2 \{2\eta\omega_s + \omega_{ss}\} \quad (43)$$

式(43)が正值なら、 $f(\sigma; s^*)$ は σ に関して凸であり、極小を与える解として σ を決定することができる。そこで、符号を確認するために、 n, η に関する偏導関数を求めておく。

$$\frac{\partial f_{\sigma\sigma}(s^*; s^*)}{\partial n} = 2\{2\eta\omega_s + \omega_{ss}\} \left\{1 - \frac{1}{n}\right\} \frac{1}{n^2} \quad (44)$$

$$\frac{\partial f_{\sigma\sigma}(s^*; s^*)}{\partial \eta} = 2\omega_s \left\{1 - \frac{1}{n}\right\}^2 \quad (45)$$

式(44)は、任意の $n > 1$ の値に対して符号が不変であることから、 $f_{\sigma\sigma}(s^*; s^*)$ は、 n に関して単調である。ただし、増加・減少については、 $2\eta\omega_s + \omega_{ss}$ の符号に依存する。表3に、 $2\eta\omega_s + \omega_{ss}$ の符号と、 $n = 1$ のとき $f(\sigma; s^*)$ が σ に関して凸か非凸かのそれぞれの場合において、 n を大きくしていったときにその凸性がどのように変化し得るのかをまとめた。同様に、式(45)は、 η の値に対して符号が不変であることから、 $f_{\sigma\sigma}(s^*; s^*)$ は、 η に関して単調であるといえることができる。ただし、式(31)より $\eta\omega_s > 0$ であることから、 $f_{\sigma\sigma}(s^*; s^*)$ は $|\eta|$ に関して単調増加であるといえることができる。したがって、 ω_s の符号にかかわらず、ある規模以上の η において必ず $f_{\sigma\sigma}(s^*; s^*) > 0$ となる。(表4を参照。)

次に、プロセス(38)が、均衡 s^* において安定かどうかを確認する。一階条件 $f_\sigma(\sigma, s')$ を全微分することにより、式(41-42)を用いて次項を得る。

$$\begin{aligned} \left. \frac{ds''}{ds'} \right|_{s^*} &= T_{s'}(s^*) = \left. \frac{ds}{ds'} \right|_{s^*} = -f_{ss}^{-1} f_{ss'} = \frac{-\phi_{\sigma s'}(s^*; s^*) + \theta_{\sigma s'}(s^*; s^*)}{\phi_{\sigma\sigma}(s^*; s^*) - \theta_{\sigma\sigma}(s^*; s^*)} \\ &= \frac{-\phi_{ss'} + \omega_{ss'} + \left\{1 - \frac{1}{n}\right\}^2 \{2\eta\omega_s + \omega_{ss}\}}{\phi_{ss} - \omega_{ss} + \left\{1 - \frac{1}{n}\right\}^2 \{2\eta\omega_s + \omega_{ss}\}} \end{aligned} \quad (46)$$

均衡の安定性を調べるために、 n, η に関する偏導関数を求めておく。

$$\frac{\partial T_{s'}}{\partial n} = \frac{2\{n-1\}n\{2\eta\omega_s + \omega_{ss}\}\{\phi_{ss} - \omega_{ss} + \phi_{ss'} - \omega_{ss'}\}}{\{\omega_{ss} - 2\omega_{ss}n + \phi_{ss}n^2 + 2\omega_s\{n-1\}^2\eta\}^2} \quad (47)$$

$$\frac{\partial T_{s'}}{\partial \eta} = \frac{2\omega_s\{n-1\}^2n^2\{\phi_{ss} - \omega_{ss} + \phi_{ss'} - \omega_{ss'}\}}{\{\omega_{ss} - 2\omega_{ss}n + \phi_{ss}n^2 + 2\omega_s\{n-1\}^2\eta\}^2} \quad (48)$$

まず、 n の変化に対する安定性の変化を調べる。式(47)は、任意の $n > 1$ の値に対して符号が不変であることから、 $T_{s'}(s^*)$ が n に関して単調であるといえることができる。ただし、増加・減少については $\phi_{ss} - \omega_{ss} + \phi_{ss'} - \omega_{ss'}$ および $2\eta\omega_s + \omega_{ss}$ の符号に依存して決まる。前者の値は、 $n = 1$ の場合の凸性および安定性に密接に関係している。式(30)より明らかのように、 $\phi_{ss} - \omega_{ss} > 0$ なら凸であり、さらに $\phi_{ss} - \omega_{ss} \pm \phi_{ss'} \mp \omega_{ss'} > 0$ なら安定である。そこで、 $\phi_{ss} - \omega_{ss}$ と $-\phi_{ss'} + \omega_{ss'}$ の関係で場合分けをすることにする。図2において、 $\phi_{ss} - \omega_{ss} > 0$ 、 $-\phi_{ss'} + \omega_{ss'} > 0$ 、 $\phi_{ss} - \omega_{ss} > 0$ 、 $-\phi_{ss'} + \omega_{ss'} < 0$ 、 $\phi_{ss} - \omega_{ss} < 0$ 、 $-\phi_{ss'} + \omega_{ss'} > 0$ 、 $\phi_{ss} - \omega_{ss} < 0$ 、 $-\phi_{ss'} + \omega_{ss'} < 0$ が凸となる領域であり、 $\phi_{ss} - \omega_{ss} > 0$ 、 $-\phi_{ss'} + \omega_{ss'} > 0$ 、 $\phi_{ss} - \omega_{ss} < 0$ 、 $-\phi_{ss'} + \omega_{ss'} > 0$ が安定である領域である。

表5に、 $\phi_{ss} - \omega_{ss} > 0$ から $\phi_{ss} - \omega_{ss} < 0$ までのすべての領域および $2\eta\omega_s + \omega_{ss}$ の正負について場合分けを行い、それ

それぞれについて $n = 1$ の場合および n を大きくした場合の凸性と安定性に対する影響をまとめた。 n を大きくした場合、最大でも分母分子にそれぞれ $2\eta\omega_s + \omega_{ss}$ が加算されるだけの影響にしかないため、 $2\eta\omega_s + \omega_{ss}$ の値が十分小さい場合には凸性や安定性の性質に影響がないが、大きい場合においては性質に影響する可能性がある。したがって、安定性の欄には、それぞれの場合について安定性の性質に対する可能な影響を示してある。

次に、 η の変化に対する安定性の変化を調べる。式 (48) は、任意の $n > 1$ の値に対して符号が不変であることから、 $T_s'(s^*)$ が η に関しても単調であるといえることができる。ただし、増加・減少については $\eta\omega_s > 0$ であることから、 $\phi_{ss} - \omega_{ss} + \phi_{ss'} - \omega_{ss'}$ の符号に依存して決まる。そこで、 n の変化の場合と同様に、 から までのすべての領域について $\eta = 0$ の場合および η の規模を大きくした場合の凸性と安定性に対する影響を表 6 にまとめた。式 (46) より、 $n > 1$ である限りにおいて $\lim_{\eta \rightarrow \pm\infty} T_s'(s^*) = 1$ であるから、 η の規模を大きくした場合に安定となるか否かは、1 に上方から近づくか下方から近づくかということに帰結する。表 6 によれば、 η の規模が十分大きければ、非凸である性質は必ず凸になる、また、不安定である性質が安定となることはあるが、安定である性質が不安定となることはないことがわかる。

3.3 数値例

第 2.3 節で導入したモデルに第 3.1 節で導入した複数のデザインを扱う仮定を導入し、様々な n 、 η の値に対して凸性や安定性を調べた。図 5 は、表 1 のケース 1a において、異なる η に対する $T_s'(s^*)$ を、 $n = 1, 2, 10, 100$ についてプロットしたものである。 $n = 1$ の場合 η は効力をまったくもたず、 η に関わらず、均衡 s^* における安定性を規定する $T_s'(s^*)$ は基本モデルで得られた $\tau_s'(s^*)$ と同じ値 (-3.517) を与える。このとき $f(\sigma; s^*)$ は σ に関して凸であり、且つ、図 2 でいえば の領域に位置している。また、このケースにおいては $\omega_s, \omega_{ss} > 0$ であり (式 (52) 参照)、したがって $2\eta\omega_s + \omega_{ss} > 0$ であることから、表 5 によれば、 n が増加するにしたがい $|T_s'(s^*)| < 1$ すなわち安定となる可能性がある。さらに、表 6 によれば、 $n > 1$ である限り十分大きな η に対しては必ず安定となる。

ケース 1b において、異なる η に対する $T_s'(s^*)$ を、 $n = 1, 2, 10, 100$ についてプロットしたものを図 6 に示す。 $n = 1$ の場合、 $\tau_s'(s^*) = -0.9243$ だから $f(\sigma; s^*)$ は σ に関して凸であり、且つ、領域 に位置している。また、 $\omega_s > 0$ 且つ $\omega_{ss} < 0$ となるケースであることから、小さな η においては $2\eta\omega_s + \omega_{ss} > 0$ となるが大きな η においては $2\eta\omega_s + \omega_{ss} < 0$ となる。したがって、表 5 によれば、小さな η に対しては、大きな n において不安定化もしくは非凸化が起きる可能性がある。他方、十分大きな η に対しては、 n に関わらず安定となる。

ケース 2a において異なる η に対する $T_s'(s^*)$ を、 $n = 1, 2, 10, 100$ についてプロットしたものを図 7 に示す。ケース 1b と同様、 $n = 1$ の場合、 $\tau_s'(s^*) = -0.1234$ だから $f(\sigma; s^*)$ は σ に関して凸であり、且つ、領域 に位置している。ただし、このケースでは $\omega_s > 0$ 且つ $\omega_{ss} = 0$ であることから、常に $2\eta\omega_s + \omega_{ss} > 0$ となる。したがって、表 5 によれば、如何なる n 、 η に対して

も必ず安定である。

ケース 2b においては、 $n = 1$ の場合に $\tau_{s'}(s^*) = -156.0$ だから $f(\sigma; s^*)$ は σ に関して非凸であり、その性質は η に影響されない。そこで、図 8 には、 $n = 2, 5, 10, 100$ について $T_{s'}(s^*)$ をプロットしたものを示した。ただし、このケースでは $n = 1$ の場合、領域 Ω に位置している。式 (31) より $\eta\omega_s > 0$ 且つ、式 (52) より $\omega_{ss} > 0$ であることから、常に $2\eta\omega_s + \omega_{ss} > 0$ である。ただし、式 (51) より $\omega_s < 0$ であることから、 $\eta < 0$ である。表 5 によれば、規模の小さな η に対しても n が増加するにしたがい凸化が起こる可能性、さらには安定化する可能性もある。表 6 によれば、 $n > 1$ である限り十分規模の大きな η に対しては必ず安定となる。

4 おわりに

生産者とリサイクラーが別の主体であるリサイクリング・システムにおいては、デザインを構成する各種の特性についての取引市場がいちいち存在しない可能性が高く、間接的にも特性の帰属価格が明らかにならないという特徴がある。このような特徴を前提とした上で、本稿ではまず、生産者が消費財のデザインを一斉に同一のものに決定するという条件の下で、消費財の価格のみならず、消費財が消費されたあとの廃棄物の引き取り価格までを考慮した正味の価格が極小となるように消費財のデザインを調節する場合、均衡状態は社会的効率性のための一階条件を満たすことを示した。さらに、デザインの一斉決定の条件を緩和し、生産者の中に一人だけ戦略的な行動をとるものが存在して、その生産者のみが消費財の正味価格を極小とするようなデザインを決定し、その他の生産者が即座に追隨して同じデザインを採用するような場合においても、均衡状態は社会的効率性のための一階条件をみたすことが示された。

ただし、このような、正味価格を観測しながら生産者がデザインを調節していくようなシステムでは、実行可能なすべてのデザインの価格を知った上で最適なものを選択するわけではなく、選択したデザインが正味価格の最小値を与えるものなのかどうかの判断を生産者が下すことは困難である。生産者が自分の選択したデザインが大域的な最小性を保証するためには、結局すべてのデザインを試す必要があり、実行可能性の見地からは正味価格の極小値を与えるデザインを選択せざるを得ない。競争相手の存在を前提としてデザインの一斉決定を緩和したモデルに至っては、わざわざ現行のデザインと大きく違う正味価格が不利となるかもしれないデザインを試すとは考え難い。すなわち、本稿で導入したデザイン調整のメカニズムでは、均衡状態の社会的最適性（効率性）は担保されないといえる。

また、ある均衡が社会的最適だとしても、デザインのリサイクラーの生産性に対する影響の仕方は、技術的な特徴を直に反映するため非線形性が強いことを否定できない。したがって、正味価格の極小化によってデザインを選択することによって自律的に均衡状態が得られるとは限らない。このような均衡の動学的性質は、デザインの一斉決定を前提とするモデルだけの問題ではなく、それを緩和したモデルにおいては、さらに、生産者の数 n や、デザイン多様性がリサイク

ラーの生産性に与える影響の度合い η に影響される。本稿では特に、デザインが正味価格の極小解として得られるための局所的凸性と、そのようにして選ばれたデザインが他の主体の意思決定に影響を与え、もとのデザインの決定環境にフィードバックするという点に注目して分析を行った。その結果、 η が小さいときは n が大きくても不安定化、非凸化する場合があるが、 η が十分大きければ n が大きいほど安定化、凸化が起きやすくなり、また、 $n > 1$ なら、十分 η が大きい場合には必ず凸化し安定化するという結果を得た。結局、大きな η においては、均衡が凸化、安定化する傾向があるということだが、これは準最適な均衡に対してもあてはまるため、状態を準最適な状態に留めてしまうことも否定できないのである。

表1 パラメータ値

	α	β	ϵ	δ	R	s^*	u^*
case 1a	0.6	0.5	0.6	5	20	1.301	11.02
case 1b	0.6	0.5	0.2	5	20	1.223	10.37
case 2a	0.1	0.1	0.1	5	20	1.231	14.78
case 2b	0.1	0.1	- 5	5	20	1.315	12.41

表2 基本モデルによる均衡の動学的性質

	$F_{ss}(s^*)$	Convexity	$\tau_{s^*}(s^*)$	Stability
case 1a	3.008	convex	- 3.517	unstable
case 1b	5.808	convex	- 0.9243	stable
case 2a	40.16	convex	- 0.1234	stable
case 2b	- 156.0	nonconvex	1.132	—

表3 n の違いによる凸性の変化

$2\eta\omega_s + \omega_{ss}$	$\partial f_{oo}/\partial n$	Convexity ($n = 1$)	Convexity ($n \rightarrow \infty$)
+	+	convex	convex
+	+	nonconvex	nonconvex/convex
-	-	convex	convex/nonconvex
-	-	nonconvex	nonconvex

表4 η の違いによる凸性の変化 ($n > 1$)

$\eta\omega_s$	$\partial f_{oo}/\partial \eta$	Convexity ($\eta = 0$)	Convexity ($\eta \rightarrow \pm \infty$)
+	+	convex	convex
+	+	nonconvex	convex

表5 n の違いによる安定性の変化

Region	$2\eta\omega_s + \omega_{ss}$	$\partial T_s / \partial n$	Stability ($n = 1$)	Stability ($n \rightarrow \infty$)
	+	+	stable	stable
	+	-	unstable	unstable
	+	-	nonconvex	nonconvex/unstable
	+	-	nonconvex	nonconvex/unstable
	+	-	nonconvex	nonconvex/unstable
	+	+	nonconvex	nonconvex/unstable/stable
	+	+	unstable	unstable/stable
	+	+	stable	stable
	-	-	stable	stable/unstable/nonconvex
	-	+	unstable	unstable/nonconvex
	-	+	nonconvex	nonconvex
	-	+	nonconvex	nonconvex
	-	+	nonconvex	nonconvex
	-	-	nonconvex	nonconvex
	-	-	unstable	unstable/nonconvex
	-	-	stable	stable/unstable/nonconvex

表6 η の違いによる安定性の変化 ($n > 1$)

Region	$\eta\omega_s$	$\partial T_s / \partial \eta$	Stability ($\eta = 0$)	Stability ($\eta \rightarrow \pm\infty$)
	+	+	stable	stable
	+	-	unstable	unstable
	+	-	nonconvex	unstable
	+	-	nonconvex	unstable
	+	-	nonconvex	unstable
	+	+	nonconvex	stable
	+	+	unstable	stable
	+	+	stable	stable

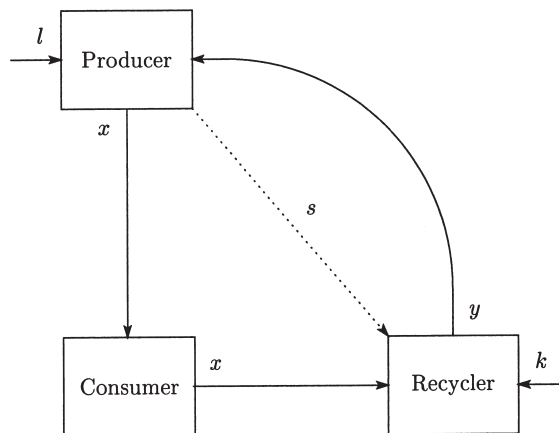


図1 リサイクルシステム・システムのイメージ

デザイン効果の内部化を伴うリサイクリングシステムの動学的性質

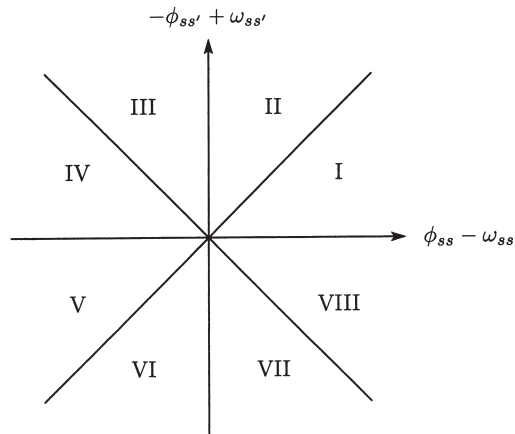


図2 基本モデルにおける凸領域 (, , ,) と安定領域 (, , ,)

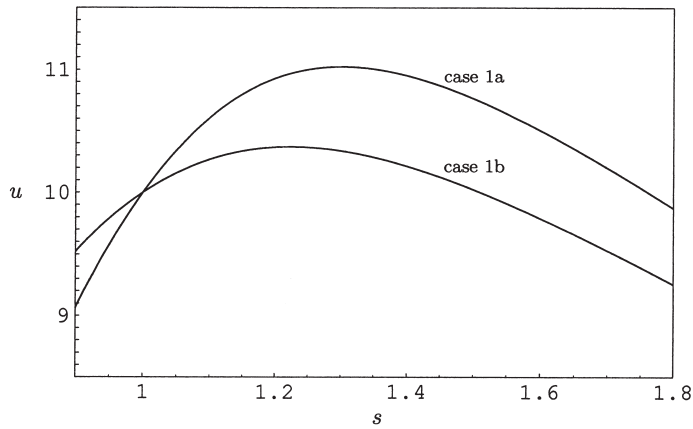


図3 デザイン s に対する経済均衡の社会厚生レベル u

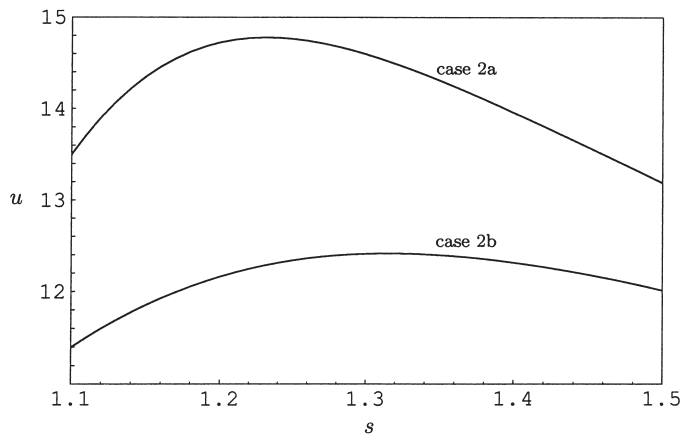


図4 デザイン s に対する経済均衡の社会厚生レベル u

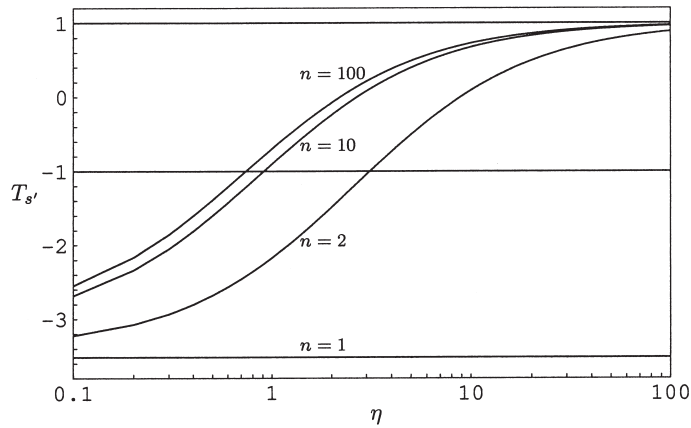


図5 デザインの多様性が生産性に与える影響力 η と均衡の漸近安定性 (ケース 1a)

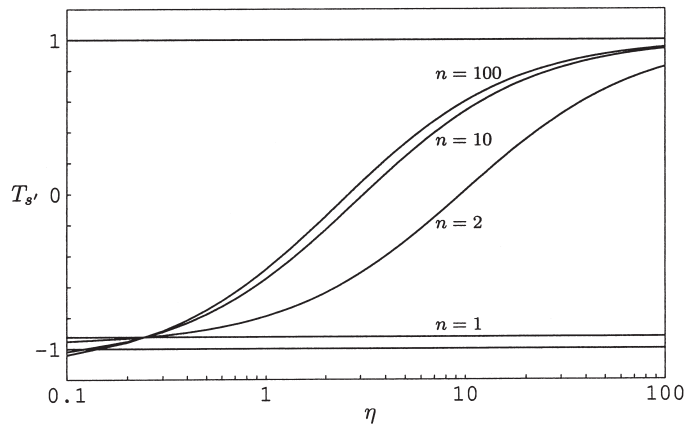


図6 デザインの多様性が生産性に与える影響力 η と均衡の漸近安定性 (ケース 1b)

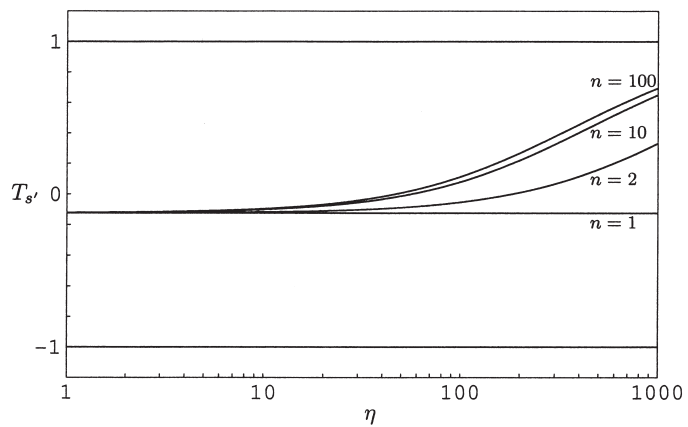


図7 デザインの多様性が生産性に与える影響力 η と均衡の漸近安定性 (ケース 2a)

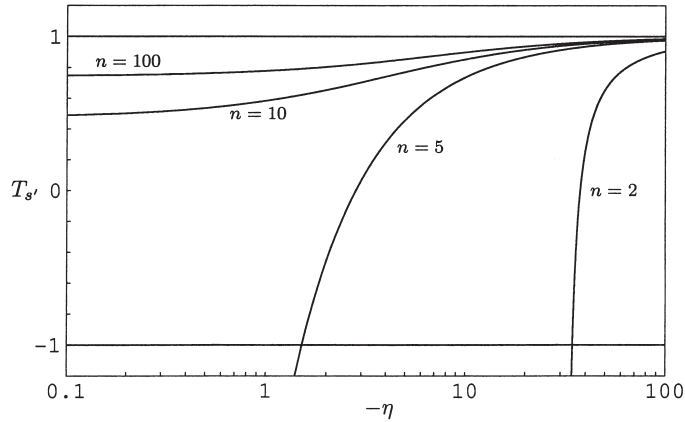


図8 デザインの多様性が生産性に与える影響力 η と均衡の漸近安定性 (ケース 2b)

付 録

基本モデルにおける $F(s; s')$ の s に関する凸性

式 (14) および、デザイン s の定義式 (27) より、次項を得る.

$$\begin{aligned} \phi(s; s') &= \rho(s') \frac{y}{x} + \delta \frac{1}{x} \\ &= \rho(s') t(s) + \delta s \end{aligned} \quad (49)$$

ただしここでは、 ρ は、所与とする価格であるが、これは s' の関数であることを明記した。また、 $t(s)$ は、 $1 = X(t(s), s)$ をみだし、したがって、 $t(s)$ は s に関して狭義凹、つまり $t_{ss}(s) > 0$ である。したがって、式 (49) より、次項を得る。

$$\phi_{ss}(s; s') = \rho(s') t_{ss}(s) > 0$$

一方、リサイクラーの生産関数が (29) である場合、式 (11-12) によれば、 $\omega(s)$ は次のように表すことができる。

$$\omega(s; s') = s^{\frac{\epsilon}{\beta}} \beta \{1 - \beta\}^{-1 + \frac{1}{\beta}} \delta^{1 - \frac{1}{\beta}} \{\rho(s')\}^{\frac{1}{\beta}} \quad (50)$$

これより直ちに次項を得る。

$$\omega_s(s; s') = \frac{\epsilon}{\beta} s^{\frac{\epsilon}{\beta} - 1} \beta \{1 - \beta\}^{-1 + \frac{1}{\beta}} \delta^{1 - \frac{1}{\beta}} \{\rho(s')\}^{\frac{1}{\beta}} \quad (51)$$

$$\omega_{ss}(s; s') = \frac{\epsilon - \beta}{\beta} s^{-2 + \frac{\epsilon}{\beta}} \beta \{1 - \beta\}^{-1 + \frac{1}{\beta}} \delta^{1 - \frac{1}{\beta}} \{\rho(s')\}^{\frac{1}{\beta}} \quad (52)$$

したがって、 $\epsilon \{\epsilon - \beta\} < 0$ である限り $\omega_{ss}(s; s^*) < 0$ となる。この場合には $F_{ss}(s; s^*) = \phi_{ss}(s; s^*) - \omega_{ss}(s; s^*) > 0$ となり、 $F(s; s^*)$ のデザイン s に関する凸性は担保される。

参考文献

- [1] Choe, C. and I. Fraser (1999), 'An Economic Analysis of Household Waste Management', *Journal of Environmental Economics and Management* 38, 234-246.
- [2] Dreze, J. H. and K. P. Hagen (1978), 'Choice of Product Quality: Equilibrium and Efficiency', *Econometrica* 46, 493-513.
- [3] 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.
- [4] Fullerton, D. and T. C. Kinnaman (1995), 'Garbage, Recycling, and Illicit Burning or Dumping', *Journal of Environmental Economics and Management* 29, 78-91.
- [5] Fullerton, D. and W. Wu (1998), 'Policies for Green Design', *Journal of Environmental Economics and Management* 36, 131-148.
- [6] Lusky, R. (1975), 'Optimal Taxation Policies for Conservation and Recycling', *Journal of Economic Theory* 11, 315-328.
- [7] Mainwaring, L. (1995), 'Primary resource use and voluntary recycling schemes: Dynamic issues in a global context', *Resource and Energy Economics* 17, 341-356.
- [8] Nishimura, K. (2001), 'On Inefficiency and Instability in Decentralized Recycling Systems', *Environmental Economics and Policy Studies* 4, 191-210.
- [9] Smith, V. L. (1972), 'Dynamics of Waste Accumulation: Disposal Versus Recycling', *Quarterly Journal of Economics* 86, 600-616.
- [10] Suslow, V. Y. (1986), 'Estimating Monopoly Behavior with Competitive Recycling: An Application to Alcoa', *Rand Journal of Economics* 17, 389-403.
- [11] 西村一彦 (1998) リサイクリング・システムの外部性 電力経済研究 39, 25-32.