上智大学大学院地球環境学研究科ディスカッションペーパー　No.0501

循環型市場経済の成長と静脈産業自立の条件

— フォン・ノイマンモデルによる分析 —

鷲田 豊明*

2005 年 7 月 10 日

* 上智大学地球環境学研究科教授　http://washida.net

循環型市場経済の成長と静脈産業自立の条件

— フォォン・ノイマンモデルによる分析 —

鷲田 豊明*

2005 年 7 月 10 日

概 要

先進国ですすめられてきた法的な整備と、循環に参加する企業や消費者の環境意識の高まりと分別収集に協力するなどの自発的な行動は、廃棄物に対する見方を大きく変えはじめている。例えば、廃ペットボトル、廃缶、廃ビンなどの形で日々大量に発生している廃容器が、発生抑制まではいかなくても、少なくない割合で再利用、再資源化に回っている。さらに、廃家庭電化製品、あるいは廃自動車なども、再資源化への動きが著しく促進している。そして、それらの多くの部分が、今日の経済活動、あるいは市場的な原理のもとで機能していることも事実である。こうした方向をいっそう前進させるための基本的なテーマは循環産業、あるいはいったん廃棄されたものをもう一度利用可能な形に戻すという意味で、静脈産業を市場経済の重要な一翼を担う産業として発展させることである。本稿では、経済成長と利潤追求を含む市場均衡をフォン・ノイマン均衡で表現し、資源を明示的に組み込み、リサイクリング部門は、外生部門からの輸入による資源と代替的な資源を再生するモデルを構成する。そして、この静脈産業を代表するリサイクリング部門が、どのような条件の下に自立性（viability）を実現するのか、その際、特に外部からシステムに投入された資源がどのように廃棄物に転化し、資源と廃棄物との関係から与えられる条件がどのようにリサイクリング部門の稼働可能性に影響を与えるのかを詳細に分析する。リサイクリングを含むモデルの分析においては資源の動態を組み込むことは決定的に重要なことなのである。そして、技術的にみて、資源レベルでの完全なリサイクリングが可能であっても、すなわち資源をまったく散逸をさせない技術が維持されていても、正の成長率を実現する経済、およびリサイクル部門が一定の技術水準を有し、労働者への実質分配がある程度以下に抑えられている限り静脈産業の活性化は発生することを明らかにする。また、そのようにリサイクリング部門が稼働することが、経済の最大成長のために不可欠の条件であることを明らかにする。さらに、モデル構成する外生的パラメータに関する比較静学を詳細におこなうことによって、廃棄物の発生、輸入資源の実質価格、動脈産業の資源効率などが経済成長率（したがってまた一般利潤率）、廃棄物部門の稼働規模や廃棄物価格、さらには資源輸入量や資源価格に与える影響に分析を加え、循環が他市場経済がどのようなファクターによって影響を受けるかを分析する。

1 はじめに

廃棄物問題は経済発展と共に深刻化する。その対策として先進国では廃棄物の増加を抑制する、さらには減少させるような社会経済システムの形成をめざして、法的あるいは経済的制度を充実させている。この場合の一つのキーワードは「循環」である。それはいったん廃棄物となったもの、あるいは廃棄物になりそうなものを再度、何らかの有用物としてよみがえらせることを意味している。しかし、単なる循環では廃棄物を減少させる決定的手段にはならないことは、広く理解されている。廃棄物の発生そのものを抑制させることが大切なのである。

このような発生抑制を最優先させるべきであるという考え方の正しさは否定しがたい一方、現実に発生している大量の廃棄物を前にすれば、それを簡単に処理して最終処分場へ持っていくという

*上智大学地球環境学研究科教授　http://washida.net

ワンウェイの廃棄物処理では、最終処分場そのものがすぐに枯渇してしまう。再利用、再資源化という循環が避けがたく必要になるのである。

日本を含め先進国ですすめられてきた法的な整備と、循環に参加する企業や消費者の環境意識の高まりと分別収集に協力するなどの自発的な行動は、廃棄物に対する見方を大きく変えはじめている。例えば、廃ペットボトル、廃缶、廃ビンなどの形で日々大量に発生している廃容器が、発生抑制まではいかなくても、少なくない割合が再利用、再資源化に回っている。さらに、廃家庭電化製品、あるいは廃自動車なども、再資源化への動きが著しく促進している。それらの多くの部分が、今日の経済活動、あるいは市場的な原理のもとで機能していることも事実である。

こうした方向をいっそう前進させるための基本的なテーマは循環産業、あるいはいったん廃棄されたものをもう一度利用可能な形に戻すという意味で、静脈産業を市場経済の重要な一翼を担う産業として発展させることである。また、廃棄物政策の大切な柱は廃棄物とその循環を市場経済の中に適切に取り込むことでなければならない。そしてこのような政策の理論的図式を提供する経済学においても、市場経済の中で静脈産業が必要な存在感を確保するための条件、あるいはそれに伴う問題点を明らかにすることが、今まで以上に切実な課題となってきている。

筆者はすでに、Washida [7]、鷲田 [8] の中で、産業や消費者が廃棄物を生み出し、それを再資源化する部門が組み込まれた線型モデルによる分析を試みている。そのなかで、廃棄物が正の価値を持つか否かが、物量体系における資源再生部門のポジティブな活動と深い関連を持っていること、また、資源がシステムの中で完全に循環させることができないという条件、すなわち資源散逸条件の重要性を明らかにした。ただし、このモデルは静学的な線形計画モデルであった。すなわち、経済に投入される未利用の資源を最小化するという目的をともなった物量体系と最終需要の資源価値を最大にするという双対体系を持ったモデルだった。

このような規範的な分析は、当然、循環型の経済・技術体系の分析にとって重要な意味を持っているが、現実の市場経済との整合性という点では、弱点を持っていることを否定することはできない。市場経済は何よりも、企業などの個別経済主体が私的な利害のもとに経済活動をおこない、結果として経済成長をともなう。静脈産業の活性化が切実な課題となっている今日、規範的な分析ではなく市場経済を前提とした循環型経済システムの分析、そして経済成長を取り込みうるようなモデルの枠組みによる分析が求められている。

廃棄物と循環の問題を線型モデル上で理論分析した業績としては、Hosoda [2, 3] および、松波 [5] がある[1)]。Hosoda [3] のモデルは線形の動学モデルで、一般財部門とリサイクリング部門が存在し、リサイクリング部門は廃棄物と一般財で一般財を生産する。廃棄物がリサイクリング部門で利用されなければ、残容量が限られている最終処分場に埋め立てられることになっている。そこでは、最終処分場という枯渇性資源が使い尽くされるまでの定常成長状態と、それ以後に静脈産業としてのリサイクル産業が活性化し、循環型の社会技術システムにシフトする姿が描かれていて興味深い。

松波 [5] のモデルは、Hosoda [3] と比較すると、構造上はリサイクル部門が一般財の投入抜きに廃棄物と労働だけで機能するようになっていること、最終処分問題が明示的に取り上げられていないことが異なっている。均衡としてはフォン・ノイマン均衡を想定している。そこでは、廃棄物部門の稼働条件と廃棄物の価格との関係が明示的に分析されていること、また、廃棄物をすべてリサイクルに回した場合に均衡に対する影響が分析されていることが注目される。

これら二つのモデルは、利潤が考慮されまた経済成長が明示的に導入されていて、その意味で今日の市場経済の本質的な部分が表現されいる。しかし、両モデルの共通の特徴として資源の動態は組み込まれていない。リサイクリング部門は、廃棄物を投入するが、資源再生部門ではなく有用財

---

1) 実証的な線形モデル分析としては、中村慎一郎氏らが開発した詳細な廃棄物産業連関表がある。近藤 [4] 参照。

を生産する部門となっている。このような想定は、資源の動態を分析することはできないが、一つの重要なアドバンテージを有している。すなわち、廃棄物の再資源化によって得られる資源が、一般財の資源と必ずしも同様に扱われるものではないと、暗示しているのである。さらにそれは再生資源を用いたオリジナルな資源を用いた場合に異なった財を生産するような方向も示唆している。

しかし、このような資源を明示的に含み来ないモデルにすると、筆者が Washida [7]、鷲田 [8] の中で示した、資源散逸条件、すなわち「どのような経済モデルも、資源が何らかの形で散逸することを無視したものであってはならない」という条件がどのように関係しているのかを分析できない。また、資源の動態を無視すると、リサイクル部門の技術的・分配的な効率性だけが、当該部門の稼働条件となって、資源利用の際に必然的に発生するリサイクリングの限界を視野からはずした分析になってしまう可能性もある。本稿の分析は、資源再生部門の技術条件だけをみた最大成長率が達成できないことを明らかにしている。すなわち、経済成長の結果としての資源リサイクリングの限界が常に外部からの資源投入を不可避にし、そのために必要な負担を経済システムに求めるために、成長率を幾ばくか犠牲にしなければならないことを示しているのである。

本稿では、経済成長と利潤追求を含む市場均衡をフォン・ノイマン均衡で表現し、資源を明示的に組み込み、リサイクリング部門は、外生部門からの輸入による資源と代替的な資源を再生するモデルを構成する。そして、この静脈産業を代表するリサイクリング部門が、どのような条件の下にワークするのか、その際、特に外部からシステムに投入された資源がどのように廃棄物に転化し、資源と廃棄物との関係から与えられる条件がどのようにリサイクリング部門の稼働可能性に影響を与えるのかを詳細に分析する。

結論として、技術的に完全なリサイクリングが可能であっても、すなわち資源をまったく散逸をさせない技術が維持されていても、正の成長率を実現する経済、およびリサイクル部門が一定の技術水準を有し、労働者への実質分配がある程度以下に抑えられている限り静脈産業の活性化は発生することを明らかにする。また、そのようにリサイクリング部門が稼働することが、経済の最大成長のために不可欠の条件であることを明らかにする。また、モデル構成する外生的パラメータに関する比較静学を詳細におこなうことによって、廃棄物の発生、輸入資源の実質価格、動脈産業の資源効率などが経済成長率（したがってまた一般利潤率)、廃棄物部門の稼働規模や廃棄物価格、さらには資源輸入量や資源価格に与える影響に分析を加え、循環が他市場経済がどのようなファクターによって影響を受けるかを分析する。

本稿は次のような構成になっている。第 2 節では、静脈産業を含むフォン・ノイマンモデルの構造およびその均衡の意義を示す。第 3 節では、モデルの成長率と産出構成の分析を行う。そのなかで、技術水準と資源に関して静脈産業を含むモデルが満たさなければならない条件を明らかにするとともに、最大成長率を実現する経済状態についての比較静学分析を行う。第 4 節では、利潤率と価格構成モデルの分析を行う。そのなかで廃棄物価格が性となるべき条件を明らかにするとともに外生的パラメータの比較静学分析を行う。第 5 節では、それまで求めた最大成長率とその産出構成、および最小利潤率を実現する価格構成がフォン・ノイマン均衡であることを証明する。第 6 節では、それまでの分析をふまえて、静脈産業が存在する意義と静脈産業が自立する条件をまとめる。最後の説では残された課題を明らかにする。

2　静脈産業を含むフォン・ノイマンモデル

2.1　経済の構造

静脈産業を含む最も単純なモデルを構成しよう。

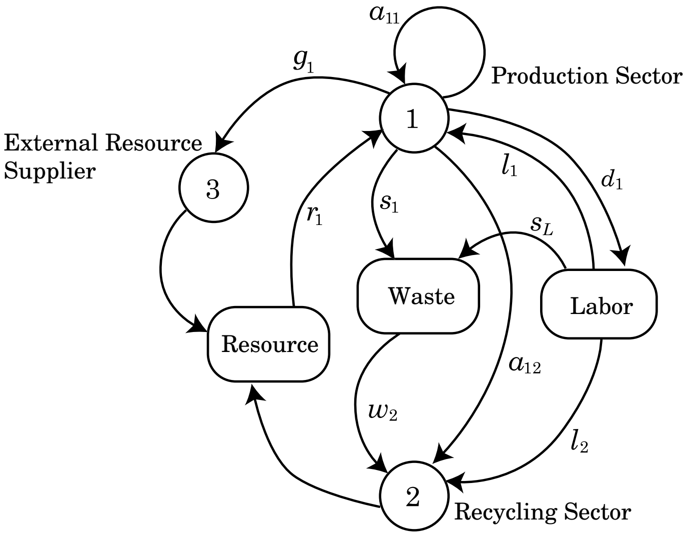

図 1: モデルの構造

動脈産業は一つしか生産部門が存在せず、その産業が生み出す財（財は一つしかないが、誤解を避けて一般財と呼ぶ）は生産財としても消費財としても用いられる。静脈産業も一つの資源再生部門しか存在しない。

資源は一つしか考慮せず、その資源は外生部門（海外）からの貿易によって手にはいる。本論文では、この外生部門を一つの独立した部門として扱う。資源は、再生部門が機能することによってリサイクル資源としても生産される。リサイクル産業が稼働しなくても、生産部門は輸入資源だけで稼働することはできる。また、貿易によって手に入れられる資源と、再生資源はまったく無差別であるとしよう。もちろん、資源は他にも存在していてもよいが、そのような資源は費用ゼロで手に入っていると考える。

生産部門は、自らの生産する一般財それ自身、資源、そして労働を投入し生産活動をおこなう。固定資本は考慮しない。外生部門から資源を購入する場合は、ある一定の一般財を対価として支払わなければならない。再生部門は一般財と労働、そして廃棄物を投入することによって再生資源を生み出す。

労働者は生産活動に従事するのに先立って賃金を受け取り、それで一定の一般財を購入する。労働者は貯蓄しない。また、労働を供給した後に、労働量に応じて廃棄物を生み出す。労働が廃棄物を生み出すのではなく、労働の対価として受け取る一般財を消費することの結果として廃棄物を出すのであるが、単純化のために労働に比例すると想定している。

単純化のために資本家は得られた利潤によって消費せず、その全額を投資するものと仮定する。

労働者の再生産も含めて、技術はすべて線形の関係にあると想定する。生産部門を区別するサフィックスとしては、1 を用い、資源再生部門を区別するのは 2、そして外生部門を 3 であらわす。

モデルの基本構造を図 1 にあらわしている。

各係数の定義を表にしておこう（表 1）。すべてが定められているある 1 期間（例えば 1 年）のフローの変量である。また、資源と廃棄物に関わる量はすべて、このモデルでただ一つ考慮されている資源の「含有量」で測っている。さらに、すべての係数は非負であるが、第 8 番目以降の係数はすべて厳密に正である。

x_1	生産部門の一般財の生産量
x_2	再生部門の再生資源の生産量
x_3	外部からの資源輸入量
p_1	一般財の価格
p_r	資源の価格
p_w	廃棄物価格
z	名目賃金率
a_{11}	一般財 1 単位を生産するのに必要な一般財それ自身の量
a_{12}	再生資源 1 単位を生産するのに必要な一般財の量
g_1	外部から資源 1 単位を輸入するときに対価として支払わなければならない一般財の量
l_1	生産部門 1 単位の生産に必要な労働量
l_2	再生部門 1 単位の生産に必要な労働量
d_1	労働 1 単位を再生・持続させるために必要な一般財の消費量
r_1	生産部門 1 単位の生産に必要な資源量
w_2	再生部門 1 単位の生産に必要な廃棄物量
s_1	生産部門 1 単位の生産の結果生じる廃棄物量
s_L	労働 1 単位の結果生じる廃棄物量

表 1: 係数の定義

2.2 フォン・ノイマンモデルの定式化

まず、物量体系から示そう。成長率ファクター、すなわち（1 +成長率）を β とすると、需要が供給を上回らないという条件は次のようにあらわされる。

$$x_1 \geq \beta\left\{(a_{11}+d_1l_1)x_1+(a_{11}+d_1l_2)x_2+g_1x_3\right\} \tag{1}$$

$$x_2+x_3 \geq \beta r_1x_1 \tag{2}$$

$$s_1x_1+s_L(l_1x_1+l_2x_2) \geq \beta w_2x_2 \tag{3}$$

ただし、x_1, x_2, x_3 はすべてが非負であり、少なくとも一つは厳密に正でなければならない。

フォン・ノイマンモデルは、均衡成長経路を求めるものであり、毎期 β の率で成長し、各部門の構成比を変えない成長経路を求めるものである。したがって、上記の各式の右辺は、それぞれ、次期の各部門の活動水準のために必要となる財、資源、廃棄物の量をあらわし、左辺は、今期生み出された財、資源、廃棄物量をあらわしている。

(1) 式は財の次期の需要が、今期の生産量を上回ることができないことを示した条件式であるが、簡単化のために、次のように記号を定義しよう。

$$b_1 \equiv a_{11}+d_1l_1$$

$$b_2 \equiv a_{12}+d_1l_2$$

このように定義すると、(1) 式は次のように書き換えられる。

$$x_1 \geq \beta\left(b_1x_1+b_2x_2+g_1x_3\right) \tag{4}$$

ここで、(2)、(3)、(4) 式を行列であらわしておこう。まず、行列を次のように定義する。

$$B = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ s_1 + s_L l_1 & s_L l_2 & 0 \end{pmatrix}, \quad A = \begin{pmatrix} b_1 & b_2 & g_1 \\ r_1 & 0 & 0 \\ 0 & w_2 & 0 \end{pmatrix}, \quad x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} \tag{5}$$

このとき、物量体系の制約条件は次のようになる。

$$Bx \geq \beta Ax \tag{6}$$

物量体系の双対体系である価格体系は次のように定式化される。

$$p_1 + p_w(s_1 + s_L l_1) \leq \alpha(p_1 b_1 + p_r r_1) \tag{7}$$

$$p_r + p_w s_L l_2 \leq \alpha(p_1 b_2 + p_w w_2) \tag{8}$$

$$p_r \leq \alpha p_1 g_1 \tag{9}$$

ただし、α は各部門で成立している利潤率ファクター、すなわち（利潤率＋ 1）のうちで最大のものである。その結果として、上記の式のような不等号が成立することになる。また、p_1, p_r, p_w はすべて非負で、そのうちの一つは厳密に正である。

また、このとき名目賃金率は次のようになっている。

$$z = p_1 d_1 - \frac{1}{\alpha} p_w s_L \tag{10}$$

すなわち、労働者の収入は名目賃金と、期末に受け取る廃棄物を売った収入であるが、期末の廃棄物収入は $1/\alpha$ によって現在価値に直されている。あるいは、利潤率の等しい利子率で期末の収入を担保に借りていると考えてもよい。それらの収入はすべて期首に消費財を購入に当てられ、貯蓄されないことをこの式は示している。

また、ここで、外生部門が一つの国内部門と同様に扱われていることに注意されたい。

この価格体系を行列式であらわそう。価格ベクトル（行ベクトル）を、$p = (p_1 \ p_r \ p_w)$ とすると、次のようになる。

$$pB \leq \alpha pA \tag{11}$$

フォン・ノイマンモデルの条件式は、したがって (6) および (11) 式であらわされる。これらをみれば直ちに明らかになるように、フォン・ノイマンモデルにおいては、規模が決まらない。すなわち物量体系において、条件式を満たす各部門の産出構成は、それらを定数倍しても同じように条件式を満足させるものとなっている。価格構成もそうである。したがってフォン・ノイマンモデルにおいては、産出構成も価格構成もそれらの間の相対比だけが意味を持つのである。

2.3　フォン・ノイマン均衡の定義と意義

このモデルに関するフォン・ノイマン均衡は、これまで示したような条件を満たしている生産水準、価格体系のうち、次のようなものを指す。

(2)〜(4) および (7)〜(9) を満たす産出構成 x_1, x_2, x_3 および価格構成 p_1, p_w, p_r、成長率ファクター β と利潤率ファクター α のうち、

$$\beta = \alpha$$

となるものであり、さらに次のような二つの原理が成立する均衡である[2)]。

[2)] フォン・ノイマンモデル、およびフォン・ノイマン均衡の内容およびその意義については、Morishima [6] の第 6 章を参照されたい。

第一に、均衡において過剰供給されている財の価格はゼロになる。（自由財ルール）
第二に、均衡において生産物の総価値が費用を厳密に下回っている部門は稼働しない。
（利潤性ルール）

この原理をここでのモデルに即して言い表せば次のようになる。

すなわち、(4) が厳密な不等号になっていれば、一般財が過剰生産されていることを意味し、$p_1 = 0$ となる。(2) が厳密な不等号になっていれば、資源が過剰供給されていることになり $p_r = 0$ となる。さらに、(3) が厳密な不等号になっていれば、廃棄物が過剰に供給されていることになり $p_w = 0$ となる。

また、(7) が厳密な不等号になっていれば、一般財の生産部門において生産費用が生産物価値を上回っていることになり、一般財の生産はおこなわれず $x_1 = 0$ になる。(8) が厳密な不等号になっていれば、資源再生部門において生産費用が生産物価値を上回っていることになり、再生資源の生産はおこなわれず $x_2 = 0$ になる。(9) が厳密な不等号になっていれば、外生部門において生産費用が生産物価値を上回っていることになり、外生部門からの資源供給はおこなわれず $x_3 = 0$ になる。

これら二つの原理は、いずれも今日の市場経済の原則に沿ったものである。その意味で、市場経済を表現しているモデルとなっている。しかし、一見それは、この市場経済が抱えている原則のきわめて一部しか見ていないようにも思える。なぜなら、例えば、現実の市場においては価格は需給に対して柔軟に反応するのに、このフォン・ノイマン均衡は自由財になったときに価格がゼロとなると語るにとどまっているからである。あるいは、各産業部門は、成立している価格に対してその供給量を自由に調整しているが、フォン・ノイマン均衡においては、価格が一般的な利潤を生み出さなくなったとき稼働しないことを語るにとどまるからである。

このようにフォン・ノイマン均衡は一見、非常に市場経済のとらえ方が弱いように思えるのである。ところが、この均衡を分析すると、このような最小限の仮定によって市場経済の本質をとらえていることがわかる。すなわち、結論を先取りすると、このような均衡は、経済の最大の均衡成長率をもたらすような均衡となっているのである。成長率の最大化は、市場そのものが直接要請するものではない。市場経済は計画経済とは両立しない。それにもかかわらず、誰もがこの市場経済が成長率の最大化を暗に要求する経済であることを知っている。すなわち、市場経済にインプリシットに組み込まれている動機を見事にとらえているのがこのフォン・ノイマン均衡なのである。

以下の分析において、物量体系については、制約条件を満たす最大の成長率ファクター β とそれを実現する産出構成がどのようになるかを追求する。また、価格体系については、制約条件を満たす最小の α とそれを実現する価格構成を求める。そして、最後にこれらの二つの状態がフォン・ノイマン均衡であることを示す。。

なお、フォンノイマン均衡においては、先の条件式でも述べたように規模は決まらない。均衡の産出構成比、および価格構成比だけが与えられるのである。

3　成長率と産業構成の分析

3.1　再資源化の剰余条件と技術効率性の条件

フォン・ノイマン均衡に到達するために、まず、物量体系を分析しよう。

(1)〜(3) を次のように一部変形してもう一度示しておく。

$$b_2x_2 + g_1x_3 \quad \leq \quad (\frac{1}{\beta} - b_1)x_1 \tag{12}$$

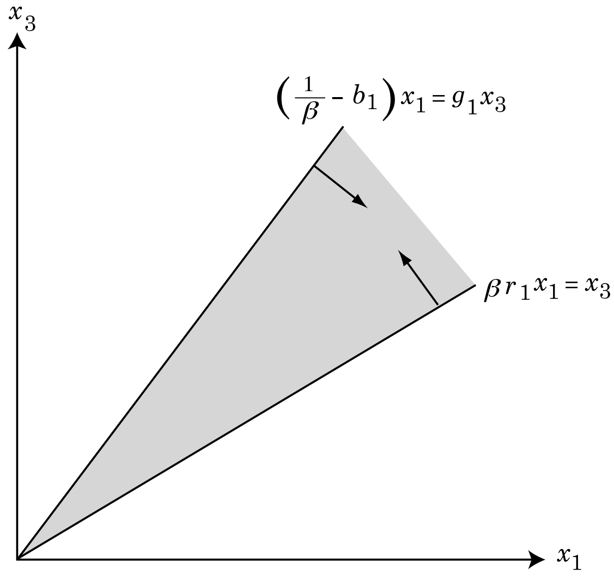

図 2: 資源再生部門を含まない経済

$$
\begin{aligned}
x_2+x_3 &\geq \beta r_1 x_1 \quad (13)\\
(\beta w_2 - s_L l_2)x_2 &\leq (s_1+s_L l_1)x_1 \quad (14)
\end{aligned}
$$

このすべてを考慮する前に、準備として、資源再生部門がなかった場合の状況を分析しておく。すなわち、資源再生部門の稼働水準がゼロであり、したがって、廃棄物の需給も問題にならない。資源再生部門が無くても、外生部門から資源が供給されるために、この経済は稼働する可能性を持っている。

このとき、上記の条件式は次のような単純な式になる。

$$
\begin{aligned}
g_1x_3 &\leq (\frac{1}{\beta}-b_1)x_1 \quad (15)\\
x_3 &\geq \beta r_1 x_1 \quad (16)
\end{aligned}
$$

いま、β が正の範囲で十分小さければ、上記の二つの条件を満たす正の x_1, X_2 が存在する可能性があらわれてくる。この条件を満たす x_1, x_2 の組み合わせの領域を実行可能領域と呼ぼう。それは図 2 のような、原点から伸びた二つの半直線に挟まれた領域としてあらわすことができる。

いま、図のような状況から成長率ファクター β を増加させていく。すると、実行可能領域は狭まっていき、最終的には二つの半直線が一致し、それ以上増大させると実行可能領域が消えてしまう。この最大の成長率ファクターは、次の式を満たすものである。

$$\frac{1}{\beta}-b_1=g_1\beta r_1$$

すなわち、

$$f(\beta)=g_1r_1\beta^2+b_1\beta-1=0 \quad (17)$$

を満たす β である。これを β_0 としよう。

ところで、資源再生部門が稼働していない状態で経済成長が不可能であるというのは、現実的ではない。なぜなら、今日、静脈産業の発展が求められているのは、すでに成長を持続させている経済だからである。そこで、上記を満たす β_0 が 1 よりも大きくなる条件を検討しておこう。

(17) 式において、$f(\beta)$ は二次曲線であり、$f(0) < 0$ であることから、均衡成長率ファクター β_0 が 1 よりも大きいことの必要十分条件は $f(1) < 0$ であることがわかる。すなわち、

$$1 > b_1 + g_1 r_1 \tag{18}$$

である。この条件は、1 単位の一般財の生産のために必要な原材料としての一般財それ自身、その雇用する労働者の生活を持続させるための一般財、さらにはそのために必要な資源を貿易によって獲得するための一般財それ自身の合計量が、1 よりも小さいことをあらわしている。すなわち、それは資源再生部門を含まない経済における剰余条件である。以下の分析においてこの条件が満たされていると想定する。

> **剰余条件：**資源再生部門を含まない経済において剰余条件は満たされている。すなわち、(18) 式が成立している。

この剰余条件 (18) は生産技術に関する条件であるとともに、分配に関する条件も含まれている。なぜなら、b_1 の中には、d_1 が含まれていて、これは労働者に対する実質賃金率であり、資本家と労働者の間の分配に関わる係数である。剰余条件が成立するためには、技術が一定水準以上であると同時に、労働者への分配がある一定水準以下であることも求めているのである。ただし、本稿では、このような労働者と資本家の間での付加価値の分配は分析テーマではないので、これ以上のことは議論しない。

次に、(12)〜(14) 式の全体を分析しよう[3)] 。

まず、各式の示す領域を図で示したい。そのために一つ確認しなければならないことがある。(12) 式の右辺のカッコの中は剰余条件から正であることがわかっている。しかし、(14) 式の左辺のカッコの中の符号がわからない。この符号が明らかにならないと図が描きにくい。この符号は常識的に正であることが予想される。なぜなら、いま $\beta > 1$ と想定しよう。すると、もし資源再生部門で 1 単位の資源を再生するために必要な廃棄物量が、そのために雇用した労働によって生み出される廃棄物より小さいなどとは余り考えられない。

この問題は後にもっと明確に定義するとして、ここでは、暫定的に、

$$w_2 - s_L l_2 > 0 \tag{19}$$

を仮定しておくが、この式は再資源化の限界条件によって成立することが確かめられる[4)] 。

これを前提に、あり得る一つの状況を図 3 に示す。

$x_1 - x_3$ 平面に注目しよう。もし、成長率ファクターが、先に検討した、資源再生部門がない場合の最大のものである β_0 に一致しているならば、図の M_1, M_2 直線は重なっている。もし、このときに、$x_1 - x_2$ 平面で、図の L_3 と L_2 が、示されたような関係ではなく、位置が入れ替わっているような状況、すなわち L_2 が L_3 の左側に来ているような状況だったとしよう。これは係数の関係であらわせば、

$$g_1 \leq b_2 \tag{20}$$

となっている状況である。このとき、直ちに明らかになることは、β が β_0 よりも少しでも増加すると、(12) と (13) を同時に満たすような領域が存在しなくなってしまうということである。

[3)] 以下の問題において、一般財の生産がゼロになることはありえないことを前提に、$x_1 = 1$ にするなど、産出構成を正規化して、簡約した問題にして解くことも可能である。しかし、必ずしも単純化にならないので、ここではそうした手法は採用しない。

[4)] 後に、再資源化の限界条件から (22) 式が成立するので、自動的にこの (19) も成立することがわかる。

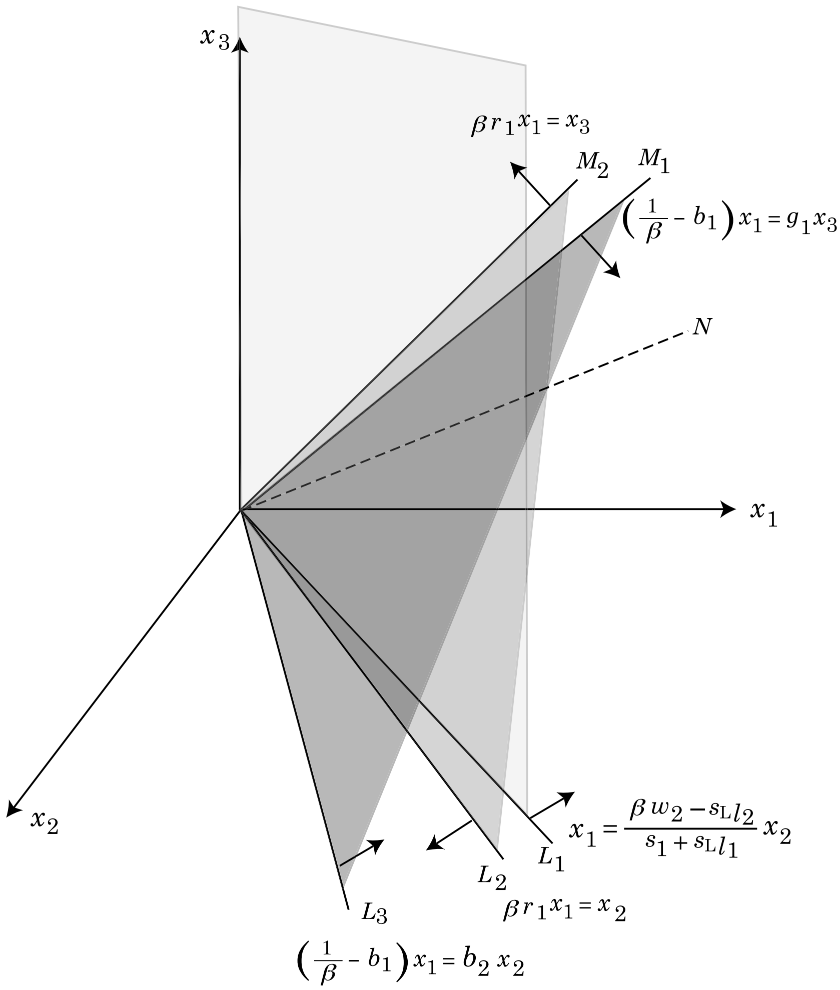

図 3: 物量システムの実行可能領域

それはまた、この経済が実現する最大の成長率 β_0 の状態においては、$x_2 = 0$ でなければならないことを示している。なぜなら、その最大成長率においては、(12) と (13) を同時に満たすような領域は、$x_1 - x_3$ 平面上の、M_1, M_2 が重なった半直線上にしかないからである。

この点に関して、次のような疑問が生まれるかもしれない。すなわち、確かに最大成長率では $x_2 > 0$ となる実行可能解は存在しないかもしれない。しかし、成長率がそれよりも低い点においては、$x_2 > 0$ となる領域があらわれる。その点では資源再生部門が稼働するわけであるから、資源が節約されて資源の利用効率が高まるのではないかということである。

すでに述べたように、フォン・ノイマン均衡においては、各産業の絶対的な稼働水準は決まらない。x_1, x_2, x_3 なども、その絶対的な大きさに意味はない。なぜならば、ある水準が均衡ならば、それのすべての稼働水準を一定倍したものもまた均衡か同水準ベクトルだからである。絶対的な外部資源投入の大きさは問題できないが、次の点は確かである。すなわち、成長率が低下すれば、それだけ経済の資源依存強度が低下するのであるから、資源節約的経済となるのである。しかし、これは価格システムを考察した後にしか明確にならないのだが、先取りしていっておけば、最大成長率より低いフォン・ノイマン均衡は存在しないということである。すなわち、もし (20) 式が成

立していれば、資源再生部門が稼働するようなフォン・ノイマン均衡は存在しない。すなわち、そのような経済状態は市場経済の原理と整合的なものではないということである。

したがって、静脈産業を分析するためには、(20) 式ではなく、

$$g_1 > b_2 \tag{21}$$

を前提しなければならないということになる。これは、1 単位の資源を手に入れるために必要な一般財の量は、外生部門よりも、資源再生部門からのほうが少なくて済むということを意味している。

そこで第二の条件を次のように提示する。

資源再生部門の技術効率性条件：資源再生部門は外生部門と比較して一般財の利用において技術的な効率性を有し、(21) 式が成立している。

この条件を構成する b_2 は d_1 すなわち、資源再生部門で働く労働者の実質賃金も含んでいるので、単純な技術条件ではないが、剰余条件と同じような理由で本稿では労働者と資本家の間の分配問題は積極的な分析対象とはしないので、ここでもこれを「技術」条件としておく。

この資源再生部門の技術効率性条件は確かに強い条件である。もし、現状で技術効率がこれほどまでに高くない場合には、輸入資源に対して関税をかける、あるいは資源再生部門に何らかの補助を与えることによってこの条件が成立するように持っていかなければならないことを示している。

3.2 廃棄物と再資源化の限界条件

技術効率性条件が成立しているものとして分析をすすめよう。この条件が成立していると、技術的な側面に限って、さらに高い成長率を実現する可能性があらわれてくる。M_1 と M_2 が接している状況のもとで L_2 と L_3 には、図のような開きがあらわれ、その間の領域が二つの不等式に限っての実行可能領域である。その状況からさらに β が増加すると、この正象限上に N のような二つの平面が交差してできる半直線があらわれる。この半直線 N は、成長率ファクターが β_0 のとき、$x_1 - x_3$ 平面の中に含まれていて、β がそれよりも増加するに従って正象限を横断し、ある β になったときに $x_1 - x_2$ 平面に含まれる。

この N が正象限を横断しているときの (12) 式と (13) 式を同時に満たす領域は、三つの半直線 N, L_2, L_3 に囲まれた、原点からこちら側に広がっている三角錐の領域である。

以上のことを念頭におきながら、(14) 式を満たす領域に注目しよう。その領域は、x_3 とは無関係に成立しなければならない条件である。その条件式を満たす領域は、さしあたって他の L_2, L_3 との位置関係は抜きに、L_1 のような半直線と軸 x_3 によって張られた正象限内の半平面の矢印であらわされた側の領域である。

$\beta = \beta_0$ の状況から考察はじめよう。これよりも β が大きくなると直線 N が正象限内に踊り出してくる一方、直線 L_1 は $x_1 - x_2$ 平面上のある位置から、x_1 軸の方向に傾きを変化させる。

決定的な条件は、β が増加し N が $x_1 - x_2$ 平面に含まれる前に、L_1 が L_2 を越えるかどうかである。

N が、$x_1 - x_2$ 平面に含まれるときの β は、次の式によって与えられる。

$$h(\beta) = b_2 r_1 \beta^2 + b_1 \beta - 1 = 0$$

この条件を満たす β を β_1 とする。剰余条件と資源再生部門の技術効率性条件から、この β_1 について、次の式が成立している。

$$\beta_1 > \beta_0 > 1$$

そこで、$\beta = \beta_1$ のとき、すなわち N がちょうど $x_1 - x_2$ 平面に含まれたときの L_1 の位置について、次の三つの場合を考察しよう。このとき N は直線 L_2, L_3 とも重なっている。

（ケース I)　直線 L_1 が N の左、すなわち x_2 軸に近い側にあるとき：

この場合、(12)〜(14) 式を同時に満たしながら、最大実現しうる成長率ファクターは β_1 であり、また、この条件を満たしている産出構成比 x_1, x_2, x_3 は直線 N によってあらわされる。このとき $x_3 = 0$ であり他の産出はすべて正である。さらに (12) および (13) 式は等号で成立しているが (14) 式は厳密な不等号になっている。すなわち、廃棄物が過剰に供給されている。

（ケース II)　直線 L_1 が N に重なっているとき：

すなわち、N および直線 L_1, L_2, L_3 のすべてが重なっているときである。このときこの場合、(12)〜(14) 式を同時に満たしながら、最大実現しうる成長率ファクターは β_1 であり、このときの産出構成比のもとで $x_3 = 0$ であり、他の産出がすべて正である点については、ケース I と同じだが、(12)〜(14) 式の全部が等号で成立しているいう点で、ケース I とは異なっている。

（ケース III)　直線 L_1 が N を越えて x_1 の軸に近い側にあるとき：

この場合は、β_0 のような状況の下で、三つの式を同時に満足する領域が存在しなくなる。その代わりに、次の式を満たすようなある β_* が存在する。

$$\beta_1 > \beta_* > \beta_0 > 1$$

成長率ファクターが β_* のときに、直線 L_1 と軸 x_3 がつくる平面が直線 N をその中に含みこむ。したがって N そのものが β_* を実現する産出構成比である。この産出構成比のもとでは x_1, x_2, x_3 のすべてが正になっていて、しかも、(12)〜(14) 式の全部が等号で成立している。

これまで与えられた条件からは、どのケースになるかは決めることができない。そこで、それぞれの場合の現実性を考察する必要がある。

まず、ケース I の場合を考察しよう。このとき、外生部門からの資源供給はない。すなわち、資源再生部門からの資源供給だけで経済が機能しているのである。さらに、廃棄物が過剰に生産されている。このようなことは物理的にありえない。資源供給が外生部門と資源再生部門からのみ供給されるというモデルの想定に立脚する限り、このような事態はありえない。経済によって資源が新たに生産されていることになってしまう。したがって、このような状況をわれわれは排除しなければならない。

次に、ケース II の場合である。これもまた、外生部門からの資源供給がゼロになっている。また、過剰に廃棄物を生み出してはいないが、経済は $\beta_1 > 1$ で成長しているにもかかわらず、外部から資源供給がおこなわれていないということは、事実上、ケース I の場合と同様に資源は、消費されているのではなく、この経済システムによって生産されていることになり、現実性を持ち得ない。

最後に、ケース III の場合である。この場合、外部からの資源が投入されている。また、資源再生部門も稼働している。この場合のみが現実性を持つことがわかる。

そこで、この経済がケース III のようであるためには、モデルの係数についてどのような条件が満たされなければならないかを調べると、それは結局、β_* において、L_1 が L_2 の右側にあること、すなわち直線の傾きの関係から、次の式が満たされていることである。

$$\frac{\beta_* w_2 - s_L l_2}{s_1 + s_L l_1} > \frac{1}{\beta_* r_1}$$

変形して、次の条件を得る。

$$\beta_*^2 w_2 > \beta_* s_L l_2 + \frac{s_1}{r_1} + \frac{s_L l_1}{r_1} \tag{22}$$

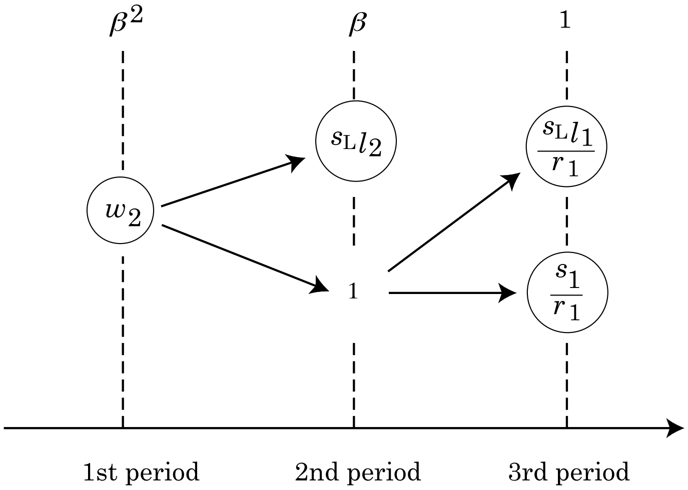

図 4: 成長経済の資源・廃棄物条件

この条件の意味するところを考察しよう。

図 4 を参照していただきたい。そこに、モデルが想定している資源と廃棄物の連鎖が描かれている。いま、第 1 期の期首に w_2 の廃棄物が資源再生部門に投入されたとしよう。すると、その期末（したがって第 2 期の期首）に 1 単位の資源が再生される。同時に、第 1 期の期末には、1 単位の資源再生をするために雇用した l_2 の労働によって $s_L l_2$ だけの廃棄物が生み出されている。次に、再生された 1 単位の資源によって生み出される一般財の量は、$1/r_1$ であるから、その生産によって直接産出される廃棄物は、s_1/r_1 である。また、その一般財の生産のために雇用した労働 l_1/r_1 によって $s_L l_1/r_1$ の廃棄物が生み出される。

このとき、最終的に生み出された廃棄物の合計がその源泉となった廃棄物 w_2 と同じか上回るというような事態はありえない。したがって両者は等しいか、前者が小さいかのいずれかである。したがって、係数の間には必ず次の条件が成立していなければならない。

$$w_2 \geq s_L l_2 + \frac{s_1}{r_1} + \frac{s_L l_1}{r_1} \tag{23}$$

もし、この式が等号で成立しているならば、これはいわゆる資源の完全なリサイクリングが実現している状況である。ジョージェスク・レーゲン（Georgescu [1]）は完全なリサイクリングはありえないこと、資源は経済活動の中で必ず散逸することを強調した。また、Washida [7] は、定常経済における資源散逸条件について詳細な分析をしている。定常経済において、完全なリサイクリングの不可能性は意味を持っているが、成長経済では、完全なリサイクリングがおこなわれたとしても、資源は外部から投入されなければならないことは容易に想像できる[5)]。

完全リサイクリングがあり得るかどうかの議論にかかわらず、この (23) 式は、定常経済であっても、成長経済であっても、資源が無から生み出されることがない限り必ず満たさなければならない条件である。そこで、定常経済ではなく、$\beta_* > 1$ であるような状態、すなわち経済が規模を増加させている状況における (22) の意味を探ることにしよう。

[5)] ここで論じている完全リサイクリングは、松波 [5] の完全リサイクリングとは異なっている。後者は、生産された廃棄物がすべてリサイクル産業に回っているものとして定義されているが、資源が明示的に導入されていないために、廃棄物がすべてリサイクリング産業に回っても、資源レベルでどれだけ再生利用されているかは明らかにされない。廃棄物以前に散逸した資源があるかもしれないし、再資源化の過程あるいはその後に散逸した資源があるかもしれないのである。

図 4 を見てもわかるように、廃棄物 w_2 が投入されてから、一般財の生産部門で廃棄物が発生するまでには、2 期間を経ている。この 2 期間の間に経済は β_*^2 倍に拡大している。したがって、この第 2 期の時点に立ってみれば、外部からの資源が入ってこなくても資源を確保するために、もとの w_2 を起点として生み出された廃棄物が、存在していなければならない廃棄物の総量は $\beta_*^2 w_2$ である。あるいは、こう考えてもよい。この第 3 期の時点に立って再生されなければならない資源量は 1 単位ではなく、β^2 単位になっているので、必要な廃棄物総量は $\beta_*^2 w_2$ でなければならない。また、資源再生部門の労働者によって生み出された廃棄物は第 2 期の時点に立ってみれば、第 1 期の水準であり 1 期前の水準であるから、β_* 倍になっていなければならない。

したがって、経済が β_* の率で成長している状況で、外部からの資源を投入せずに機能するためには、

$$\beta_*^2 w_2 = \beta_* s_L l_2 \beta_* + \frac{s_1}{r_1} + \frac{s_L l_1}{r_1}$$

が成立しなければならない。しかし、このようなことがありえないことは簡単にわかる。(23) 式と $\beta_* > 1$ であることから、次の式が成立する。

$$\beta_*^2 w_2 > \beta_*(s_L l_2 + \frac{s_1}{r_1} + \frac{s_L l_1}{r_1}) > \beta_* s_L l_2 + \frac{s_1}{r_1} + \frac{s_L l_1}{r_1}$$

すなわち、(22) が成立していることになる。

したがって、(22) 式が成立する決定的な条件は、(23) 式が成立することである。そして、この (23) 式は、現実がモデルに要請する条件として必ず満たされていなければならないものである。これを第三の条件として次のようにまとめておこう。

> **再資源化の限界条件：**経済システムにいったん取り込まれた資源の総量は、いかなる再資源化を行おうとも、外部から新たな資源を投入しない限り、その量を増加させることはできない。この条件は、(23) 式によってあらわされる。

この再資源化の限界条件は、条件というよりも法則である。

これまでに述べた三つの条件が成立しているならば、最大成長率 β_* において産出構成比はいずれの部門も正となり、物量体系の条件式である (12)〜(14) 式はすべて等号で成立している。また、これまでの議論から明らかではあるが、たとえ完全なリサイクリングが行われたとしても、すなわち (23) 式が等号で満たされていたとしても、成長率 β_* が 1 よりも大である限り、すなわち経済が正の成長率で成長する限り、そのものでの産出構成比はすべて正でり、またすべての条件式が等号で満たされるという事実は変わらない。

ところで、この経済がなぜ β_* よりもおおきな β_1 の成長率を実現できないかを考察することは大いに意味がある。β_1 は、廃棄物の供給制約を全く考慮せずに、資源再生部門を機能させ、輸入資源の代わりに再生資源を完全に用いることによって実現する成長率である。しかし、成長する経済は必ず外部からの資源投入を必要とする。その輸入資源を確保するために、国内純生産の一部を割かなければならない。そのために β_1 が実現できないのである。これは次のようなことを意味する。もし、リサイクリングを含むモデルで資源の限界を考慮できないモデルを用いると、本来 β_* までしか実現できない成長率を誤って β_1 として分析してしまうかもしれない。これは、リサイクリングを含むモデルが資源制約を考慮することの大切さを物語っているのである。

3.3 物量体系の外生パラメータに関する比較静学

最大成長率を実現する産出構成について、比較静学をおこないその特性をとらえることにしよう。いま、外生パラメータとして注目するのは、r_1, g_1, w_2, s_1, s_L である。すなわち、これらのパ

ラメータの値の変化が、産出構成や成長率に与える影響を分析する。他のパラメータについても分析は可能であるが、読者自身で試みられたい。

すでに最大成長率とその産出構成のもとでは、条件式 (12)〜(14) 式がすべて等号で成立することを示した。また、そのときの産出構成はスケールが決まらず、相対比だけが問題になることも指摘した。そこで、いま $x_1 = 1$、すなわち動脈産業の活動水準を 1 に基準化して分析を行おう。このときの x_2 と x_3 を、これまでのものと区別するために、それぞれ y_2 および y_3 とおこう。改めて式を書き下すと次のようになる。ただし、β は β_* と書くべきであるが、簡単化していることに注意されたい。

$$\begin{aligned} b_2y_2 + g_1y_3 &= \frac{1}{\beta} - b_1 \\ y_2 + y_3 &= \beta r_1 \\ (\beta w_2 - s_L l_2)y_2 &= s_1 + s_L l_1 \end{aligned}$$

これらの式を、$y_2, y_3, \beta, r_1, g_1, w_2, s_1, s_L$ に関して全微分をすることによって次の式を得る。

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} b_1 & r_1 & \frac{1}{\beta^2} \\ 1 & 1 & -r_1 \\ \beta w_2 - s_L l_2 & 0 & w_2y_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dy_2 \\ dy_3 \\ d\beta \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} 0 \\ \beta dr_1 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -y_3dg_1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -\beta y_2 dw_2 \end{pmatrix} \\ &\quad + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ ds_1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ (l_1 + y_2 l_2) ds_L \end{pmatrix} \end{aligned}$$

左辺の内生変数微分 $dy_2, dy_3, d\beta$ に関する係数行列の行列式の符号は次のようにして確定できる。

$$\Delta = \begin{vmatrix} b_1 & r_1 & \frac{1}{\beta^2} \\ 1 & 1 & -r_1 \\ \beta w_2 - s_L l_2 & 0 & w_2y_2 \end{vmatrix} = -\left\{ (\beta w_2 - s_L l_2)(g_1 r_1 + \frac{1}{\beta^2}) + w_2 y_2 (g_1 - b_2) \right\} < 0$$

すなわち、これまで示した条件、すなわち、(19) 式および技術効率性条件 (21) 式の下では、この行列式の値は負であることがわかる。

外生パラメータの微分 $dr_1, dg_1, dw_2, ds_1, ds_L$ に対する、内生変数の微分 $dy_2, dy_3, d\beta$ の関係は、外生パラメータの微分のうち対象の微分以外のものをすべてゼロにおいて次のように求めることができる。

$$\begin{aligned} \frac{d\beta}{dr_1} &= \frac{\beta g_1 (\beta w_2 - s_L l_2)}{\Delta} < 0 \\ \frac{dy_2}{dr_1} &= \frac{-\beta g_1 w_2 y_2}{\Delta} > 0 \\ \frac{dy_3}{dr_1} &= \frac{b_2 w_2 y_2 - w_2 + \frac{s_L l_2}{\beta}}{\Delta} \lesseqqgtr 0 \\ \frac{d\beta}{dg_1} &= \frac{y_3 (\beta w_2 - s_L l_2)}{\Delta} < 0 \\ \frac{dy_2}{dg_1} &= \frac{-y_3 w_2 y_2}{\Delta} > 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{dy_3}{dg_1} &= \frac{y_3\left\{w_2y_2 + r_1(\beta w_2 - s_L l_2)\right\}}{\Delta} < 0 \\
\frac{d\beta}{dw_2} &= \frac{-\beta y_1(b_2 - g_1)}{\Delta} < 0 \\
\frac{dy_2}{dw_2} &= \frac{\beta y_2(g_1r_1 + \frac{1}{\beta^2})}{\Delta} < 0 \\
\frac{dy_3}{dw_2} &= \frac{\beta y_2(-b_2r_1 - \frac{1}{\beta^2})}{\Delta} > 0 \\
\frac{d\beta}{ds_1} &= \frac{b_2 - g_1}{\Delta} > 0 \\
\frac{dy_2}{ds_1} &= \frac{-g_1r_1 - \frac{1}{\beta^2}}{\Delta} > 0 \\
\frac{dy_3}{ds_1} &= \frac{b_2r_1 + \frac{1}{\beta^2}}{\Delta} < 0 \\
\frac{d\beta}{ds_L} &= \frac{(l_1 + y_2l_2)(b_2 - g_1)}{\Delta} > 0 \\
\frac{dy_2}{ds_L} &= \frac{(l_1 + y_2l_2)(-g_1r_1 - \frac{1}{\beta^2})}{\Delta} > 0 \\
\frac{dy_3}{ds_L} &= \frac{(l_1 + y_2l_2)(b_2r_1 + \frac{1}{\beta^2})}{\Delta} < 0
\end{aligned}$$

これらの結果を表 2 にまとめておこう。この表で、$+$ は一方の変化と同じ方向に他方も変化するということであり、$-$ は逆方向に変化すること、$\pm$ は変化の方向が確定できないことを示している。

	r_1	g_1	w_2	s_1	s_L
経済成長率 β	$-$	$-$	$-$	$+$	$+$
再生資源供給量 y_2	$+$	$+$	$-$	$+$	$+$
資源輸入量 y_3	$\pm$	$-$	$+$	$-$	$-$

表 2: 物量体系に関する比較静学分析のまとめ

それぞれみておこう。まず、生産部門における資源投入係数 r_1 についてである。資源投入係数の減少、すなわち動脈産業における資源効率の改善は、経済成長にプラスに働く（逆は逆、以下すべて）。一方、資源依存度が低下することによって資源再生部門の規模は減少させるが、資源輸入量にはどのように影響与えるかは確定できない。

資源輸入の実質コスト g_1 の増加の影響を調べよう。経済成長率にはマイナスに働く。資源輸入量が減少する一方で再生資源供給量が増加し、輸入資源から再生資源へのシフトが生じる。

1 単位の資源再生に必要な廃棄物量 w_2 の変化の影響を調べよう。ただし、当然この変化は、(23) 式を満たす範囲でなければならない。経済成長率に与える影響としては、廃棄物が社会的必要財となっている限り、社会的な生産効率の悪化を意味し、経済成長率を低めることになる。資源再生部門の効率の悪化であり、結果として、資源の供給源を資源再生部門から輸入にシフトさせる結果をもたらす。

一般財生産部門の 1 単位の生産によって排出される廃棄物量 s_1 の影響について調べる。これもまた、(23) 式を満たす範囲での変化である。ただし、この s_1 は廃棄物の中でも、リサイクリングに回される廃棄物であることを強調しておく。廃棄物が有用材として機能している状況の下では、

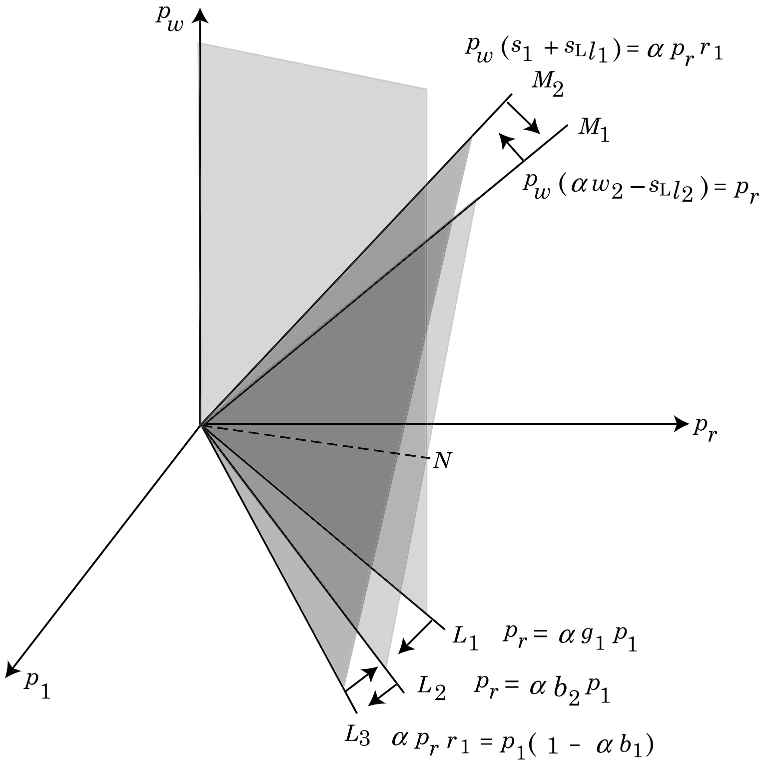

図 5: 価格 – 利潤率システムの実行可能領域

社会の生産効率を高め経済成長率を増加させる。また、資源の利用が全体として輸入から資源再生部門にシフトする。

s_L についても s_1 と同じ結果が得られる。

4 利潤率と価格体系の分析

4.1 最小利潤率の価格構成

利潤率と価格体系を規定する要因を分析しよう。そのために、(7)〜(9) 式を一部改変して再度書き下しておこう。

$$p_1(1-\alpha b_1) + p_w(s_1 + s_L l_1) \quad \leq \quad \alpha p_r r_1 \tag{24}$$

$$p_1\alpha b_2 + p_w(\alpha w_2 - s_L l_2) \quad \geq \quad p_r \tag{25}$$

$$\alpha p_1 g_1 \geq p_r \tag{26}$$

これらの式によってあらわされる一つの状況を図 5 に描いている。十分大きい α を想定し、資源再生部門の技術的効率性条件である (21) 式が成立していれば、およそ図のような状況があらわれる。図で L_1 と L_2 が図のような配置になっているのは、(21) 式に依っている。

この状態から α を少しずつ小さくしていくと、いずれ L_3 と L_2 が重なるときがくる。二つが重なっているときは次の式が成立しているときである。

$$h(\beta) = b_2 r_1 \alpha^2 + b_1 \alpha - 1 = 0 \tag{27}$$

このときの α を α_1 としよう。この α_1 は物量体系の分析の際に示した β_1 に等しくなっている。

このときの $p_w - p_r$ 平面上の直線 M_1 および M_2 の状況に注目しなければならない。三つの場合が考えられる。

（ケース I）図ととは逆に直線 M_1 が M_2 の左側にある。このとき、(24)〜(26) を同時に満たす領域は $p_1 - p_r$ 平面上の L_2 と L_3 が重なっている直線上しかなくなっている。すなわち確実に廃棄物価格 p_w はゼロである。

（ケース II）直線 M_1 と M_2 が重なっている。このとき L_2, M_1 がつくる平面と L_3, M_2 がつくる平面がきれいに重なっていることになる。このとき (24)〜(26) 式を同時に満たす領域は、重なっている平面と L_1 から上に伸びている平面の交わった線 N と $p_1 - p_r$ 平面上の L_2 と L_3 が重なっている直線でつくられている部分平面の領域である。N 上では三つの不等式がすべて等号で満たされていて、少なくともそこでは廃棄物価格 p_w は正となる。

（ケース III）現状の図のように直線 M_1 が M_2 の左側にある。このとき $\alpha_1 > \alpha_*$ なる α_* が存在して、L_2, M_1 がつくる平面と L_3, M_2 がつくる平面、さらには L_1 から上に伸びている平面がすべて一つの直線（N とする）で重なる状況があらわれる。その状況でも、直線 M_1 が M_2 の左側にあるような配置は維持されている。このときは N 上で廃棄物価格も含めてすべての価格が正となっている（フォン・ノイマン均衡の定義から原点は除外されている）。

この三つのケースは、それぞれ物量体系の三つのケースに対応していることは簡単に確認できるだろう。

ここでの分析は簡単にすませることができる。すなわち再資源化の限界条件を満たしているのは、ケース II だけなのである。物量体系の分析で確認した三つの条件を満たせば、必ず廃棄物価格も含めてすべての価格は正となり、また、そのときの利潤率ファクターは β_1 よりも小さな α_* が存在なっている。

また、ケース III の状況において α_* となってるときには、L_3 は L_1 とは重なっていない。まだ、前者は後者の左側に残っている。したがって、α_* は β_0 よりも大きい。すなわち、まとめると次のようになる。

$$\alpha_1 = \beta_1 > \alpha_* > \beta_0 > 1$$

後のフォンノイマン均衡を示す節において、$\beta_* = \alpha_*$ であることが確認される。

4.2 価格体系の比較静学分析

ケース III を前提とした比較静学分析をおこなおう。この状態では、(24)〜(26) 式はすべて等号で満たされている。$p_1 = 1$ と基準化したときの、p_w, p_r をそれぞれ q_w, q_r とし、最小利潤率は α_* だが単純化のため、ただ α と記述しておこう。このとき、三つの等式について、$q_w, q_r, \alpha, r_1, g_1, w_2, s_1, s_L$ について全微分した式を行列で表現しておこう。

$$\begin{pmatrix} s_1 + s_L l_1 & -\alpha r_1 & -b_1 - q_r r_1 \\ \alpha w_2 - s_L l_2 & 1 & b_2 + q_w w_2 \\ 0 & -1 & g_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dq_w \\ dq_r \\ d\alpha \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha q_r dr_1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -\alpha dg_1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ -q_w \alpha dw_2 \\ 0 \end{pmatrix}$$
$$+ \begin{pmatrix} -q_w ds_1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -q_w l_1 ds_L \\ q_w l_2 ds_L \\ 0 \end{pmatrix}$$

左辺の内生変数微分 $dq_w, dq_r, d\alpha$ に関する係数行列の行列式の符号は次のようにして確定できる。

$$\begin{aligned}\Delta &= \begin{vmatrix} s_1 + s_L l_1 & -\alpha r_1 & -b_1 - q_r r_1 \\ \alpha w_2 - s_L l_2 & 1 & b_2 + q_w w_2 \\ 0 & -1 & g_1 \end{vmatrix} \\ &= (s_1 + s_L l_1)(b_2 + q_w w_2) + (b_1 + q_r r_1)(\alpha w_2 - s_L l_2) + g_1 r_1 (\alpha^2 w_2 - \alpha s_L l_2 - \frac{s_1 + s_L l_2}{r_1}) > 0\end{aligned}$$

ただし、右辺最後の項が正であることは、$\alpha > 1$ および再資源化の限界条件から導き出される。

外生パラメータの微分 $dr_1, dg_1, dw_2, ds_1, ds_L$ に対する、内生変数の微分 $dq_w, dq_r, d\alpha$ の関係は、外生パラメータの微分のうち対象の微分以外のものをすべてゼロにおいて次のように求めることができる。

$$\begin{aligned}
\frac{d\alpha}{dr_1} &= \frac{\alpha q_r(-\alpha w_2 - s_L l_2 - 1)}{\Delta} < 0 \\
\frac{dq_w}{dr_1} &= \frac{\alpha q_r g_1 (b_2 + q_w w_2)}{\Delta} > 0 \\
\frac{dq_r}{dr_1} &= \frac{-\alpha q_r g_1 (\alpha w_2 - s_L l_2)}{\Delta} < 0 \\
\frac{d\alpha}{dg_1} &= \frac{-\alpha \left\{(s_1 + s_L l_1) + \alpha r_1 (\alpha w_2 - s_L l_2)\right\}}{\Delta} < 0 \\
\frac{dq_w}{dg_1} &= \frac{-\alpha \left\{-\alpha (b_2 + q_w w_2) + b_1 + q_r r_1\right\}}{\Delta} \lesseqqgtr 0 \\
\frac{dq_r}{dg_1} &= \frac{\alpha \left\{(s_1 + s_L l_1)(b_2 + q_w w_2) + (\alpha w_2 - s_L l_2)(b_1 + q_r r_1)\right\}}{\Delta} > 0 \\
\frac{d\alpha}{dw_2} &= \frac{-q_w \alpha (s_1 + s_L l_1)}{\Delta} < 0 \\
\frac{dq_w}{dw_2} &= \frac{-q_w \alpha (\alpha r_1 g_1 + b_1 + q_r r_1)}{\Delta} < 0 \\
\frac{dq_r}{dw_2} &= \frac{-q_w \alpha g_1 (s_1 + s_L l_1)}{\Delta} < 0 \\
\frac{d\alpha}{ds_1} &= \frac{q_w (\alpha w_2 - s_L l_2)}{\Delta} > 0 \\
\frac{dq_w}{ds_1} &= \frac{-q_w (g_1 + b_2 + q_w w_2)}{\Delta} < 0 \\
\frac{dq_r}{ds_1} &= \frac{q_w g_1 (\alpha w_2 - s_L l_2)}{\Delta} > 0 \\
\frac{d\alpha}{ds_L} &= \frac{q_w l_1 (\alpha w_2 - s_L l_2) + q_w l_2 (s_1 + s_L l_1)}{\Delta} > 0 \\
\frac{dq_w}{ds_L} &= \frac{-q_w l_1 (g_1 + b_2 + q_w w_2) + q_w l_2 (\alpha r_1 g_1 + b_1 + q_r r_1)}{\Delta} \lesseqqgtr 0 \\
\frac{dq_r}{ds_L} &= \frac{q_w l_1 (\alpha w_2 - s_L l_2) + q_w l_2 g_1 (s_1 + s_L l_1)}{\Delta} > 0
\end{aligned}$$

これらの結果を表 3 にまとめておこう。

まず、各外生パラメータに対する利潤率の反応が、物量体系の比較静学において、外生パラメータに対する成長率の反応とまったく同じになっていることが確認できる。

これらの結果を物量体系の比較静学分析も参照しながら詳しく見ていこう（すべてについて、逆は逆が成り立つことに注意)。

	r_1	g_1	w_2	s_1	s_L
利潤率 α	$-$	$-$	$-$	$+$	$+$
廃棄物価格 q_w	$+$	$\pm$	$-$	$-$	$\pm$
資源価格 q_r	$-$	$+$	$-$	$+$	$+$

表 3: 価格体系に関する比較静学分析のまとめ

まず、資源投入係数 r_1 の変化に対する反応を検討しよう。この係数の減少、すなわち資源効率の上昇は、動脈部門の収益性を増加させ一般的に利潤率を高める。一方、それによる経済の活力の上昇が、資源に対する全体としての需要圧力を強め資源価格を上昇させる。しかし、再生資源に対する依存度は低下し、結果として廃棄物価格も低下する。

資源の実質輸入価格の上昇は、経済全体の収益性を悪化させて利潤率を低下させる。やや奇妙なのが廃棄物価格の反応である。輸入資源の実質価格の上昇は全体として再生資源に対する依存度を高め、廃棄物価格を上昇させるような気がするのだが、実際は符号が定まらない。全体として、資源は輸入資源から再生資源にシフトするが、全体の経済規模増加に対する圧力が低下することによって廃棄物が相対的に供給量を増加させることを意味している。

廃棄物投入係数 w_2 の増加は、社会全体としての利潤率を低下させて経済の活力にマイナスに作用する。物量体系で資源再生部門の活動規模が低下し、廃棄物に対する需要も低下するので、その希少性が弱まり廃棄物価格も低下する。全体として資源投入は再生資源から輸入資源にシフトするが、資源の一般財か核に比べた相対価格は低下する。

廃棄物のリサイクル係数 s_1 が増加すると利潤率に好影響を与える。資源再生部門の活動水準は増加するが、廃棄物が相対的に多く供給されることによって廃棄物価格は低下する。資源価格全体も上昇する。

労働者による廃棄物リサイクル係数の増加 s_L は利潤率に好影響を与える。しかし、廃棄物価格に与える影響が確定できない。

5　フォン・ノイマン均衡の成立

ここまでに、最大成長率（β_*）を実現する産出構成と最小利潤率（α_*）を実現する価格体系を示し、それらについて分析をおこなってきた。あらためてここで、これらの二つのシステムがフォン・ノイマン均衡であることを示そう。

まず、この最大成長率と最小利潤率が等しいこと、すなわち $\beta_* = \alpha_*$ であることを示す。

いま、最大成長率を実現する産出構成を $x = (x_1, x_2, x_3)'$ という列ベクトルで示す。また、最小利潤率を実現する価格構成を $x = (p_1, p_w, p_r)$ という行ベクトルで示す。(5) 式で定義されている産出行列 B および投入行列 A を用いると、これらの構成では制約条件がすべて等号で成立しているので、次のような式が成立していることがわかる。

$$Bx = \beta_* Ax \tag{28}$$

$$pB = \alpha_* pA \tag{29}$$

(28) 式の左辺からベクトル p をかけ、(29) 式の右辺からベクトル x をかけて、両者を比較することによって次のスカラー式を得る。

$$\beta_* pAx = pBx = \alpha_* pAx$$

産出構成も価格構成もすべて厳密に正であるから、$pBx > 0$ である。したがって、

$$\beta_* = \alpha_* \tag{30}$$

となる。

また、産出構成と価格構成のすべての要素が正であり、条件式がすべて等号で成立しているこの均衡においては、フォン・ノイマン均衡の自由財ルールと利潤性ルールという二つの原理は自動的に成立している。

つぎに、このモデルにおいて、フォン・ノイマン均衡はこれ以外に存在しない、唯一（ユニーク）であることを示そう。

いま、ある γ が存在し、それが次の式を満たすようなものだったとしよう。

$$\beta_* = \alpha_* < \gamma$$

そして、この γ のもとでフォン・ノイマン均衡が成立していたとする。すると、そのファクターに対する産出構成 x' が存在し、

$$Bx' \geq \gamma Ax'$$

が成立していることになる。これは明らかに、β_* が制約条件を満たす最大成長率ファクターであるという事実と矛盾する。

また、

$$\beta_* = \alpha_* > \gamma$$

を満たすような γ のもとでフォン・ノイマン均衡が成立していたとすると、そのファクターに対する価格構成 p' が存在し、

$$p'B \leq \gamma p'A$$

となるが、これは α_* が制約条件を満たす最小の利潤率ファクターである事実と矛盾する。したがって (30) 式であらわされるようなファクターによって成立したこのモデルのフォン・ノイマン均衡はユニークなものである。

この時点で、あらためてこのフォン・ノイマン均衡の意義を確認しておこう。

なによりもこの均衡が最大成長率を実現しているという事実が注目されるべきである。フォン・ノイマン均衡は、安定であることを約束していない。したがって、経済の中に最大成長率に向かう傾向があることを約束しているわけではない。しかし、物量的な需給のバランス、そして価値的なバランスを、市場原理と共に実現する均衡が最大成長率を約束することの意味は大きい。すなわち、われわれの市場経済が最大成長を基準として成立していることを示唆しているのである。

もう一方の、均衡利潤率は最小利潤率であることの意味である。それは、資本のダイナミックな移動を暗示している。フォン・ノイマン均衡はどの部門にも超過利潤を発生させないような価格システムを意味している。超過利潤率を生み出すような価格体系は不均衡であり、そのような部門へ資本が移動し、供給を拡大させ超過利潤率を解消することを暗示しているのである。

われわれは、資源再生部門を含むモデルにおいて、このような特質を持つフォン・ノイマン均衡の特徴を分析してきた。それはまた、成長を動機として内在させている循環型市場経済の特質の分析でもあった。

6　静脈産業の存在意義と活性化の条件

これまでの結果が静脈産業についてどのような光を与えているのかをまとめておこう。

第一に、経済成長率との関係である。

経済成長は資源に対する強い依存度を生み出すことは、完全なリサイクリングが実現しても資源輸入が必要となることにあらわれている。その意味で、経済成長は廃棄物問題についてはネガティブな要因なのである。しかし、一方で、本稿の分析が示した重要な結論の一つは、資源再生部門が一定の生産性の水準を持っている限り、すなわちその技術的効率性条件が満たされている限り、それが存在しないよりも成長率を高めるということである。それは、その善悪の判断はさしあたって保留して、経済成長が市場社会の豊かさの基準、あるいは経済システム全体のパフォーマンスを表す指標と考えれば、資源再生部門の存在は、同じ豊かさをより少ない資源で実現するも機能を果たしているということである。

経済成長率に対する比較静学分析の結果を振り返ってみよう。静脈部門の変化が経済成長率に与える影響をそこから読みとることができる。s_1, s_L についての結果が示していることは、廃棄物のうち、リサイクルに回せる量が増大すると、経済成長に好影響を与える、すなわち経済システム全体のパフォーマンスを増加させることである。これは、企業や消費者が廃棄物を適切に分別などして静脈産業の投入物を増加させることの大切さを示している。一方、w_2 の減少は、経済成長にプラスの影響を与える。すなわち、静脈産業が廃棄物から効率的に資源を再生できるようになることは、経済全体のパフォーマンスを増加させることがわかる。以上のことは、資源を含む財がいったん廃棄物になって以降、すなわち、物質が静脈産業の世界に入ってからの資源効率性を高めることの大切さを示している。

第二に、廃棄物価格の問題である。

静脈産業を評価する上で廃棄物価格は決定的に重要な指標である。やや古い話だが、日本の近世において、江戸の長屋の糞尿には価格がついて、近郊農業の肥料として用いられたことはよく知られている。今日のアルミ缶や古紙の状況を見ても静脈産業の存在と廃棄物価格の密接な関係を確認できる。静脈産業が自立した産業として存在しているかどうかを示すのは、廃棄物の価格が正となることである。廃棄物価格がこのような意味を持っているとするならば、静脈産業を育てるための政策の方向性は廃棄物に適切な価格がつくシステムを市場経済と両立する形で導入することである。

初めにも述べたように、今日の先進国経済では資源の分別収集などが進み、再資源化の技術的社会的条件が整っている。このような条件の下では、廃棄物問題に行政や公的機関が積極的に介入する政策ではなく、市場メカニズムを積極的に利用することが大切となってきている。民間の力を利用し、必要ならば民営化を推進し、廃棄物価格が適正につけられるようなシステムが必要なのである。

第三に、輸入資源から再生資源への代替を促進する要素に注目することである。

本稿の比較静学分析の結果を振り返ってみよう。輸入資源の価格が増大することが、再生資源への代替を促進することは当然予測されたものである。直ちに意味を持つとは限らないが、石油資源価格の上昇や、パルプ資源の輸入に対する制約の増加は不可避的に再生資源への依存度を高める。また、成長率のところでもしめしたような、いったん廃棄物となった段階からの、資源利用効率の上昇、すなわち s_1, s_L の増加と w_2 の減少は、輸入資源から再生資源への代替を促進する。企業や消費者が、廃棄物を単なる無用物と見るのではなく、そこに含まれる資源に注目して大切に扱うようにすることがこのような代替を促進するのである。

7　終わりに

本稿では資源リサイクリングを含むフォン・ノイマンモデルを用いて、特に資源動態に注目しながら静脈産業の分析をおこなってきた。最後に今後の理論分析の課題を述べて論考を終えよう。

第一に、線型モデルは代替関係を取り扱うことが必ずしも容易ではない。静脈産業の分析で、この代替関係の分析が必要となるテーマが存在する。一つは、再生資源と輸入資源の代替である。本稿のモデルでは両資源は完全代替であることを仮定した。たとえば、鉄などはほぼこの仮定が当てはまると思われるが、パルプなどこの仮定が成立せず再生資源は一定の劣化を被る。この資源の代替性を考慮することが必要である。線型モデルでもこのような代替関係が分析できないわけではない。未利用資源と再生資源を扱う生産技術・プロセスを異なったものとして分析すればよいわけである。プロセスが増えることによって分析が複雑になるが、試みる必要性は存在する。また、資源の代替性だけではなく、未利用資源によって生産された財と再生資源によって生産された財が同じものにはならない場合も存在する。このような関係を取り入れるモデル分析も必要である。

第二に、Hosoda [3] でおこなわれている、最終処分場の枯渇の問題をモデルの中に明示的に取り入れることも必要である。ただし、どのように組み込むかについては工夫が必要であろう。単にリサイクリングに回らなかった廃棄物が最終処分に回されるというのではなく、最終処分産業を独立させた上で、動脈産業に、廃棄物を最終処分に回す産業とリサイクリングに回す産業の二つが存在するような構成にして、均衡においてどちらの産業が活性化するかを分析することが考えられる。これもまた構造が複雑になるが線型モデルによる分析の意義は強いと考えている。

参考文献

[1] Georgescu-Roegen,N., 1979, “Energy Analysis and Economic Valuation,” *Southern Economic Journal*, 45(4):1023-1058.

[2] Hosoda,E., 2000,“Material cycle, waste disposal, and recycling in a Leontief-sraffa-von Neumann economy,” *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 2:1-9.

[3] Hosoda, E., 2001, ”Recycling and Landfilling in a Dynamic Sraffian Model: Application of the Corn-Guano Model to a Waste Treatment Problem,” *Metroeconomica,* 52(3):268-281.

[4] 近藤康之・高瀬浩二・中村慎一郎, 「廃棄物産業連関表（1995 年全国表）の推計」, 『廃棄物経済学をめざして』, 早稲田大学現代政治経済研究所研究叢書 16, 中村慎一郎編, 早稲田大学出版部, pp.97-150.

[5] 松波淳也, 1993, 「結合生産体系における廃棄物再生部門」,『三田学会雑誌』, 86(2):65-80.

[6] Morishima,M., 1969, *Theory of Economic Growth*, Oxford University Press.

[7] Washida,T., 1998, ”Material Dissipative Conditions and the Impossibility of Complete Recycling,” *Structural Change and Economic Dynamics*, 9(3), 271-288.

[8] 鷲田豊明, 1992, 『環境とエネルギーの経済分析』, 白桃書房.