廃棄物とリサイクルに関する政策分析

斧田　真理子*

Abstract

本研究は、「家電リサイクル法」、「容器包装リサイクル法」、「自動車リサイクル法」といった現実の法制度をベースとした経済モデルを設定し、廃棄物およびリサイクルに関する政策について、比較静学分析を行ったものである。

*関西学院大学大学院経済学研究科

目次

1　先行研究と本研究の特徴

本章では、廃棄物処理政策に関する先行研究を紹介するとともに、「廃棄物とリサイクルの概念図」を用いて本研究の特徴を示す。

1.1　廃棄物処理政策に関する先行研究

本節では、廃棄物処理政策に関する先行研究を紹介する[1]。廃棄物処理に関する政策手段はさまざまあるが、以下では、家計に対する政策と企業に対する政策に大別する。まず、家計に対する政策としては、廃棄物に対する課税（いわゆる、ごみ袋課税のことである）や、リサイクル（合法処理）に対する補助金（ただし、リサイクル収集料金として考える場合には、マイナスとなる）、そして購入時における前払い制の廃棄物処理料金（いわゆる ADF (Advanced Disposal Fee) のことである）などが挙げられる。一方、企業に対する政策としては、バージン資源（新しく採掘・抽出した資源）の使用に対する課税や、リサイクル資源の使用に対する補助金などがある。家計および企業に対するこういったさまざまな政策を組み合わせることにより、経済は、効率的な資源配分を達成することが可能となる。

まず、家計に対する政策として、廃棄物に対する課税を考える。この政策手段は、廃棄物処理の外部費用を内部化するための、最も直接的な方法であり、家計によって出されるごみ 1 袋に対する課税といった形で実施される。Fullerton and Kinnaman (1995) や、Palmer and Walls (1994) でも述べられているように、廃棄物への課税の利点の 1 つは、他の税手段を併用しなくても、効率的な資源配分が達成されるという点である。家計は、私的費用に基づいてリサイクルを行ったり、堆肥化をしたり、あるいは廃棄物を削減したりするかも知れない。しかし、家計が処理方法を決定するにあたり、完全な社会的費用に直面しているならば、その決定は効率的なものとなる。つまり、資源の効率的配分を達成するためには、この廃棄物への課税だけで十分であり、バージン資源への直接的な課税やリサイクルへの補助金といった他の政策手段を用いる必要がないということである。例えば、Dinan (1993) によると、廃棄物への課税とバージン資源への課税との組み

[1]廃棄物処理政策に関する研究は数多くなされており、代表例としては、Smith (1972)、Dinan (1993)、Fullerton and Kinnaman (1995)、Palmer and Walls (1997)、Shinkuma (2003) が挙げられる。これらの研究では、廃棄物処理料金、リサイクル料金・補助金、バージン資源への課税、そしてリサイクル量基準の設定といった政策、および政策の組み合わせを比較し、最適政策について検討している。

合わせは、2 重課税のため非効率であるとされている。また、廃棄物への課税の利点の 2 つめは、政策決定者に必要な情報が、ごみ袋 1 単位あたりの社会的費用のみである、という点である。Repetto et al (1992) は、廃棄物処理の私的費用および社会的費用に基づいて推計を行い、ごみ 1 袋あたり 1.43 ドルから 1.83 ドルという推計結果を示している。また、Fullerton and Wu (1998) で明らかにされているように、社会的限界費用に基づく廃棄物の価格づけにより、企業も最適量の包装容器を生産し、最適量の環境配慮型設計を目指すようになるが、これが 3 つめの利点と言える。

ただし、廃棄物への直接的な課税にも問題点はある。まず 1 つめは、Fullerton and Kinnaman (1996) でも示されているように、課税を実行する際の行政コストが、推計された社会的便益を超えてしまう可能性があるという点である。また、Dinan (1993) によると、廃棄物に含まれる資源が異なった社会的費用を生み出すのなら、廃棄物に対する一律税は、どんなタイプであっても非効率的であるとされている。例えば、電池と古新聞を比較した場合、処理の社会的費用は、電池のほうが古新聞よりも大きいので、廃棄物に対する課税に関しても、電池のほうを古新聞よりも高くすべきである。しかし、こういった明白な税システムは、執行するには費用がかかってしまうことになり、これも問題点の 1 つである。そして、問題点の 3 つめとしては、家計の不法投棄が盛んならば、廃棄物への課税という政策手段では、問題が生じてしまうという点が挙げられる。こういった問題に関連して、Dobbs (1991) や、Fullerton and Kinnaman (1995) はモデル分析を行い、以下のようなことが示されている。もし、家計が不法投棄という選択肢を持ち、かつ、不法投棄の外部費用が合法処理の外部費用よりも大きいならば、合法処理された廃棄物への最適課税はマイナスとなる。つまり、合法的な廃棄物処理には、補助金が与えられるべきであるとされている。ただし、合法処理への補助金は、リサイクルを促す一方で、廃棄物の量自体を増やす原因となることも事実である。このことも踏まえ、本論文の第 2 章および第 3 章では、政府による不法投棄の取り締まり政策に着目し、モデル分析を行う。

ここで、合法処理に対する補助金政策と、不法投棄に対する取り締まり政策とを比較分析した研究として、Sullivan (1987) を紹介する[2]。Sullivan は、有害廃棄物の不法処理の問題に対処するための 3 つの second-best な政策を比較検討している。1 つめは自由放任的な政策、2 つめは有害廃棄物の合法処理に対する補助金政策、そして 3 つめは不法投

[2]環境規制、モニタリングに関するサーベイ論文としては、Cohen (1999) や Heyes (2000) が挙げられる。より一般的な規制に関しては、Polinsky and Shavell (2000) などを参照。

棄に対する取り締まり政策である。3 つめの不法投棄の取り締まり政策とは、不法投棄に関連した期待罰金額（不法投棄の摘発確率に、不法投棄 1 単位あたりの罰金額をかけたもの）を引き上げることにより、不法投棄を阻止しよう、という政策である。この 3 つめの政策が、本論文の第 2 章および第 3 章のモデル分析で着目する「不法投棄の摘発確率」の操作に関連している。また、Sullivan では、簡単なコンピュータモデルを用い、合法処理に対する最適な補助金と最適な執行予算を計測している。その結果、合法処理に対する最適な補助金は、市場価格の 34.9% と計測され、最適な執行予算は、廃棄物 1 バレルあたり 8.51 ドルと計測されている。もし、廃棄物抑制計画のための予算が小さいのなら、取り締まり政策は補助金政策よりも優れていることになる。さらに、Sullivan は、各々の政策に関し、どんな状況のときに他の政策と比べてより優れているかについても検討している。例えば、3 つめの不法投棄への取り締まり政策については、以下のような結果が得られている。不法投棄の社会的限界費用が相対的に大きい場合、廃棄物処理に対する需要の価格弾力性が相対的に大きい場合、そして取り締まりの対象となる資源に対する罰金確率の弾力性が相対的に大きい場合に、取り締まり政策が優れているとされている。

これまで、家計に対する政策を見てきたが、企業に対する政策の 1 つとして、バージン資源への課税が挙げられる。このバージン資源への課税により、リサイクル投入財に対する企業の需要が増加し、リサイクル資源に対する支払い価格が上昇する。その結果、リサイクル可能な資源を運んでくる（合法処理を行う）家計の経済便益が増加するとされている。ただし、バージン資源への課税にも問題点があり、その 1 つとして、リサイクル資源の需要が増えるとは限らないという点が挙げられる。Dinan (1993) によると、課税されたバージン投入財とリサイクル投入財との間に代替性がある産業では、リサイクル資源の使用が促進されるが、課税されたバージン資源を使用しないその他の産業では、リサイクル資源の需要は増加しないとされている。また、バージン資源への課税を適用するには、各企業におけるバージン投入財とリサイクル投入財との技術的代替率の情報が必要だが、こういった情報は、通常は入手が困難であることも問題点の 1 つである。さらに、政策手段の組み合わせに関しては、以下のような分析がなされている。まず、Palmer and Walls (1994) では、バージン資源への課税によって、効率的な投入の組み合わせが促される可能性はあるものの、経済全体での生産と消費を減少させる可能性があるとされている。その結果、廃棄物の量が低水準になり、非効率となってしまう。したがって、最終財に対する補助金と組み合わされたときだけしか、バージン資源への課税は効率的なものにはならない。そして、Fullerton and Kinnaman (1995) や Palmer and

Walls (1997) によると、デポジット・リファンド制度といった他の政策手段が利用可能ならば、バージン資源への課税は、バージン資源の伐採や抽出に関わる外部費用を是正するためだけに必要ということが示されている。つまり、廃棄物処理に関する外部費用を是正するためには、バージン資源への課税は必要ないということになる。前述したように、Dinan (1993) でも、廃棄物への課税とバージン資源への課税との組み合わせは、2 重課税のため非効率であるとされている。

次に、デポジット・リファンド制度に関する先行研究を見ていく。デポジット・リファンド制度とは、例えば、リサイクル可能な飲料容器に入った商品について考えた場合、その商品の購入時（あるいは生産時）に料金を課し（デポジット）、その容器が適切に返却されればそれを払い戻す（リファンド）という制度である。デポジット・リファンド制度を用いることにより、廃棄物処理に関連した外部費用を是正することができるとされ、Dinan (1993)、Dobbs (1991)、Fullerton and Kinnaman (1995)、Palmer and Walls (1994)、Palmer et al. (1997)、Fullerton and Wu (1998) などの研究で支持されている。デポジット・リファンド制度の利点の 1 つは、製品のリサイクル可能性を促進する点である。Fullerton and Wu (1998) で述べられているように、この制度の下で与えられるリファンドにより、企業は、リサイクルしやすい製品を最適に作るようになる。そして、家計は、リサイクルを行ってリファンドを受け取るために、そういった製品を需要することになる。製品のリサイクル可能性を直接促すことは、行政的には困難なため、デポジット・リファンド制度の利用は有効であると言える。また、家計や企業の支持を得やすい点も、利点の 1 つである。Palmer and Walls (1994) によると、デポジット・リファンド制度は、環境に関心のある家計の支持を得やすく、実行に移しやすいとされている。また、バージン資源への課税に強く抵抗する企業にも、この制度は支持されやすい。利点の 3 つめは、政策決定者にとって情報の入手が容易である点である。デポジット・リファンド制度を実施するために政策決定者が知る必要があるのは、廃棄物処理の社会的限界費用のみであるとされている。また、Palmer and Walls (1999) では、リサイクル財の収集者に支払う補助金と、生産された中間財への課税との組み合わせは、デポジット・リファンド制度の効率性を保つ一方、行政コストも安くなるとされており、これも利点と考えることができる。さらに、Palmer and Walls (1994) によると、消費への課税（デポジット）そのものは、廃棄物を減らすものの、リサイクルは促さないという問題点がある。一方、リサイクル補助金（リファンド）そのものは、バージン投入財とリサイクル投入財との間で効率的な投入財の組み合わせを生み出すものの、生産、消費、廃棄物が過剰になっ

てしまうという問題点がある。したがって、消費への課税とリサイクル補助金とを組み合わせるべきであると述べられている。また、デポジットは、財の販売時、もしくは財の生産時のどちらかに課せられることになり、前払い制の廃棄物処理料金（ADF）と考えることができる。Palmer et al. (1997) においても、前払いの処理料金とリサイクル補助金との組み合わせのみが、生産時の廃棄物の減少と、処理時のリサイクルの両方を促すことが示されており、デポジット・リファンド制度の有効性が強調されている。以上のように、さまざまな先行研究においてデポジット・リファンド制度が支持されていることを踏まえ、本論文の第 4 章および第 5 章のモデルでも、財の購入時における課税（ADF）すなわちデポジットと、合法処理に対する補助金すなわちリファンドについて検討する。

以上のような環境政策の他に、「指令・統制」もまた、理論上は、効率的な結果を達成することが可能であるとされている。この指令・統制の代表的なものが、「リサイクル量基準」である。具体的には、家計に対して強制的にリサイクルを行わせたり、企業に対してリサイクル量基準の最低ラインを設定したりするものである。しかし、Palmer and Walls (1999) でも示されているように、このリサイクル量基準は、他の政策手段と組み合わせて慎重に実施されなければ、効率性は達成されないという問題点がある。また、政策決定者にとって、効率性達成のための情報入手は困難であるといった問題点もあるものの、アメリカのさまざまな州で法令化もなされている。

1.2　本研究の特徴

本研究の特徴は、現実の法制度を念頭に置き、モデルを構築している点である。第 2 章とそれに続く第 3 章では「家電リサイクル法」、第 4 章では「容器包装リサイクル法」、そして第 5 章では「自動車リサイクル法」が背景にある[3]。本研究のモデルの設定は、Fullerton and Kinnaman (1995) のモデルをベースとし、各経済主体における最適化行動（効用最大化行動や利潤最大化行動）を考えている。また、第 3 章の社会的厚生分析に関しても、この Fullerton and Kinnaman のモデルが基本となっている[4]。ただ、第 4 章および第 5 章

[3]「家電リサイクル法」、「容器包装リサイクル法」、「自動車リサイクル法」といった法制度に関しては、各章（第 2 章、第 4 章、第 5 章）の第 1 節で説明を加える。

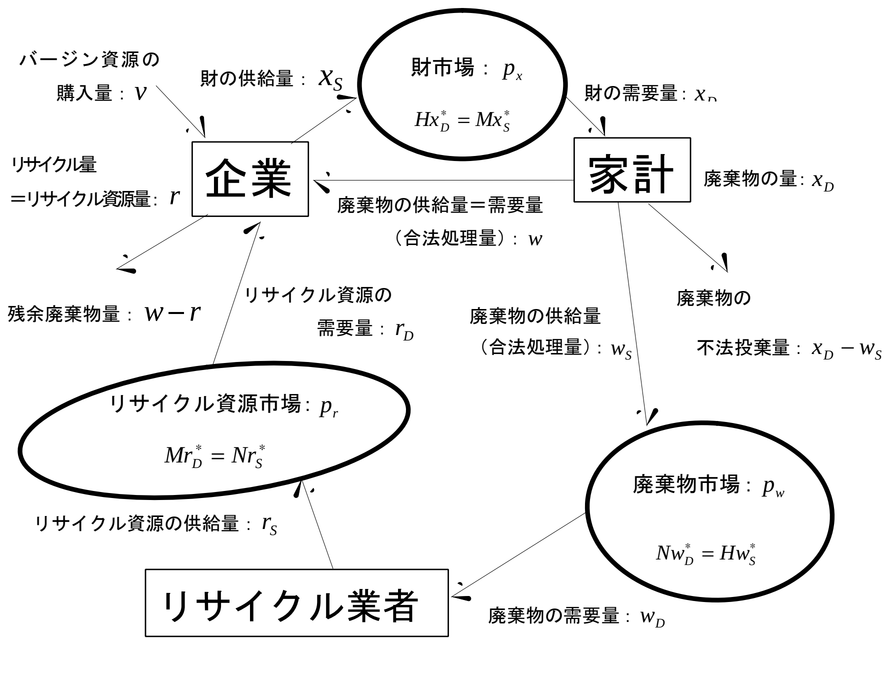
[4]Eichner and Pethig (2001) では、廃棄物発生の抑制やリサイクルに関するモデル分析として、以下の 3 つの流れを紹介している。1 つめは、Smith (1972)、Lusky (1976) から Highfill and McAsey (1997)、Huhtala (1997) に代表される動学モデルである。2 つめは、Holterman (1976)、Miedema (1983) から Morris and Holthausen (1994)、Sigman (1995)、Palmer et al. (1997)、Palmer and Walls (1997) に代表される静学的な部分均衡モデルである。そして、3 つめが、Kohn (1995)、Fullerton and Kinnaman (1995)、 Fullerton and Wu (1998)、Eichner and Pethig (2001) に代表される静学的な一般均衡モデルである。Fullerton and Kinnaman (1995) のモデルは、3 つめの静学的な一般均衡モデルに属する。

で３市場３経済主体モデルに拡大したことや、より簡略な比較静学分析を行いたかったことなどから、本論文では極めてシンプルな構造に変更している。また、政策目標については、各章のモデルの背景にある法制度や現実問題と照らし合わせて設定している。例えば、「家電リサイクル法」が背景にある第２章では、家計廃棄物の不法投棄量の減少や、企業によるリサイクル量の増加、および残余廃棄物量の減少などを政策目標として掲げている。そして、社会的厚生分析においても、不法投棄や残余廃棄物がもたらす環境被害に着目する。「容器包装リサイクル法」をベースとした第４章では、法律の性質をも考慮に入れ、バージン資源購入量の減少、およびリサイクル資源需要量の増加を政策目標としている。そして、「自動車リサイクル法」を念頭に置いている第５章のモデルでは、輸出の可能性を考え、中古品の輸出量の増加と、リサイクル残余物の輸出量の減少を政策目標として掲げ、比較静学分析を行っている。

本研究のモデルは、【図１】で示される「廃棄物とリサイクルの概念図」（以下では「概念図」と表記）に基づいている。第２章および第３章のモデルは、この「概念図」の上半分をモデル化したものであり、第４章および第５章のモデルは、この「概念図」の全体をモデル化したものである。このことについて、以下で説明する。

「概念図」の上半分をモデル化した第２章および第３章のモデルは、上述したように、「家電リサイクル法」を念頭に置いたものであり、企業（家電メーカー）は、財の生産とリサイクルを同時に行うものと仮定している。したがって、家計と企業という２つの経済主体と、両者をつなぐ財市場のみを考える。企業は、リサイクル業者の役割をも果たすものとし、廃棄物市場もリサイクル資源市場も存在しないとする。家計は財市場から財を需要し、廃棄物を排出する。このとき、この廃棄物の処理に関して、家計は合法処理を行って企業のもとへ運ぶか、あるいは不法投棄を行うか、という２つの選択肢を持つことになる。合法処理された家計廃棄物は、企業によってリサイクルされてリサイクル資源に生まれ変わり、財の生産の原料として使われる可能性がある。ただし、合法処理によって家計から運ばれてきたにもかかわらず、企業がリサイクルできなかった廃棄物は、残余廃棄物となる。本モデルでは、この残余廃棄物の扱いについて、「埋立補助金によって埋め立てることが可能である」という仮定を置いている。また、企業が生産を行う際には、自らがリサイクルを行うことで生み出したリサイクル資源と同時に、新しく抽出したバージン資源をも利用することになる。この２つの資源を用いて生産された財は、財市場へと供給され、家計によって、再び需要されることになる。

【図 1】廃棄物とリサイクルの概念図



次に、第 4 章と第 5 章のモデルの背景を説明する。上述したように、第 4 章のモデルは「容器包装リサイクル法」を、第 5 章のモデルは「自動車リサイクル法」を念頭に置いたものであり、家計、リサイクル業者、企業という 3 つの経済主体と、それらをつなぐ財市場、廃棄物市場、リサイクル資源市場という 3 つの市場が存在すると仮定している[5]。家計とリサイクル業者は廃棄物市場でつながれ、リサイクル業者と企業はリサイクル資源市場でつながれ、企業と家計は財市場でつながれている。家計は、財市場から財を需要し、廃棄物を排出する。ここでも、廃棄物処理に関する家計の選択肢として、合法処理と不法投棄の 2 つを考える。合法処理された廃棄物は廃棄物市場に運ばれて供給されることになるが、不法投棄された廃棄物は、「ごみ」として環境汚染の原因となる。また、リサイクル業者は、廃棄物市場から廃棄物を需要し、その廃棄物を用いてリサイクル資源を生み出す。そして、生み出されたリサイクル資源は、リサイクル資源市場へ

[5]「容器包装リサイクル法」を念頭に置いた第 4 章のモデルも、「自動車リサイクル法」を念頭に置いた第 5 章のモデルも、生産を行う企業と、リサイクルを行うリサイクル業者は別々であると考え、3 市場 3 経済主体モデルを設定している。なお、リサイクル市場を考慮しているモデルには、Calcott and Walls (2000) がある。

と供給される。そして、企業は、リサイクル資源市場からリサイクル資源を需要し、財市場へと財を供給する。ただし、ここでも、企業が財を生産する際には、このリサイクル資源の他に、バージン資源をも利用することになる。さらに、各市場では完全競争が成立しているものとし、財市場では財の価格が決定し、廃棄物市場では廃棄物の価格が決定し、リサイクル資源市場ではリサイクル資源の価格が決定するものとする。

以下では、経済モデルが閉鎖経済モデルであるか、開放経済モデルであるかという観点から整理しておく。第 2 章のモデルでは、廃棄物などを海外へ輸出する可能性はないもののとし、「閉鎖経済モデル」を仮定している。そして、不法投棄の摘発確率（取り締まり政策）に関して、比較静学分析を行う。続く第 3 章では、第 2 章のモデルを発展させて社会的厚生分析を行い、最適な政府政策について検討する。第 4 章の「3 市場 3 経済主体モデル」においても、輸出の可能性を考慮しない「閉鎖経済モデル」を仮定する。そして、家計に対する課税政策および補助金政策について、比較検討する。続く第 5 章では、第 4 章の 3 市場 3 経済主体モデルをベースとしたモデルを考える。ただし、「開放経済モデル」を仮定し、中古品やリサイクル残余物を輸出することが可能であるとする。そして、使用済み財（廃車）に対する補助金、およびリサイクル資源に対する課税について、政策の比較分析を行う。

以上を、経済主体、輸出可能性の有無という 2 つの観点で大まかにまとめると、次の【表 1】のようになる。ただし、「閉鎖経済」、「開放経済」といった表現は、あくまでも便宜上のものである[6]。

【表 1】経済主体の数と輸出可能性の有無

	「閉鎖経済」	「開放経済」
2 主体（家計、企業）	第 2 章（第 3 章）	
3 主体（家計、リサイクル業者、企業）	第 4 章	第 5 章

[6]貿易と環境に関する初期の研究では、古典的な貿易理論の完全競争モデルが使用されている。例えば、Asako (1979)、Baumol (1971)、Copeland (1994)、Krutilla (1991)、McGuire (1982)、Merrifield (1988)、Neary (2000)、Pethig (1976)、Rauscher (1994) などが先行研究として挙げられる。サーベイ論文としては、Siebert et al. (1980)、Sturm (2003)、Ulph (1997) などがある。

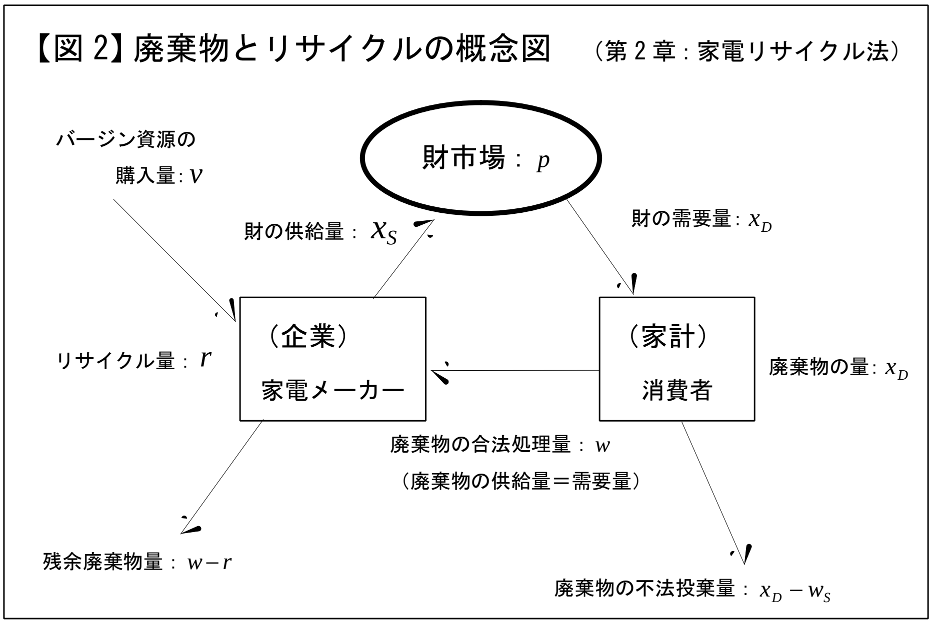
2　2経済主体モデル

2.1　問題の所在

「家電リサイクル法（特定家庭用機器再商品化法）」は、廃家電のリサイクルを行うことで、廃棄物を減量するとともに、資源の有効利用を推進することを目指した法律で、2001年4月に施行されたものである。現在、この法律の対象となっているのは、廃家電4品目と呼ばれるものであり、エアコン、テレビ（ブラウン管式及び液晶・プラズマ式）、電気冷蔵庫・電気冷凍庫、電気洗濯機・衣類乾燥機が該当する。小売業者は、家計から不用家電を引き取り、家電メーカーに引き渡す。家電メーカーには、その材料を再び家電製品の材料などとして使えるようにリサイクルが義務づけられている。その際、家計は「収集運搬料金」と「再商品化等料金」（リサイクル料金）を負担することになる。「収集運搬料金」は販売店によって異なっており、500円台〜3,000円台と差が大きい。一方、「再商品化等料金」はほぼ一律であり、代表的な金額としては、エアコンが2,625円、15型以下のテレビが1,785円、16型以上のテレビが2,835円となっている。また、冷蔵庫・冷凍庫に関しては、170リットル以下のものが3,780円、171リットル以上のものが4,830円、そして、洗濯機・衣類乾燥機は2,520円となっている。いずれにせよ、家計の立場からすると、「家電リサイクル法」は「捨てるときにお金を負担」しなければならない制度であるため、費用の負担を嫌って不法投棄量が増大する可能性が考えられる。実際、環境省のデータによると、廃家電4品目の全国の不法投棄台数（推計値）は、2009年度には133,207台であり、前年度の119,381台と比較して、11.6％増加となっている。実は、この119,381台という数は、家電リサイクル施行後の数値としては、最も少ないものであったが、それでも12万台近くが不法投棄されているという現状は、大きな問題としてとらえる必要がある[7]。

不法投棄だけでなく、埋立地（最終処分場）の不足も、大きな問題とされている。ここで、最終処分場の状況について、環境省のデータを紹介する。「一般廃棄物の排出及び処理状況等（2010年度）」（環境省）によると、一般廃棄物最終処分場の残余容量は、1998年度以降12年間続けて減少しているものの、最終処分場の数も、1996年度以降、概ね減少傾向にあるため、最終処分場の確保は引き続き厳しい状況にあるとされている。さら

[7]環境省では、市区町村における廃家電4品目（及び廃パソコン）の不法投棄等の状況について、定期的に4月1日時点での調査を実施している。ちなみに、2003年10月からは、資源の有効な利用の促進に関する法律（資源有効利用促進法）に基づき、廃パソコン（デスクトップ、ノートブック、ブラウン管式ディスプレイ、液晶ディスプレイ）についても、製造業者等によるリサイクルが始まっている。



に、2010 年度末時点で、残余年数は 19.3 年とされている。

このように、現在も、不法投棄および埋立地不足が大きな問題となっている。そこで、第 2 章では、家計廃棄物の不法投棄量の減少や、企業によるリサイクル量の増加および残余廃棄物量の減少を主な政策目標とし、比較静学分析を行う。そして、こういった政策目標を達成するための政策手段としては、不法投棄に対する摘発確率、すなわち、パトロールなどによって不法投棄を取り締まる確率を操作することに着目する。例えば、「収集運搬料金」や「再商品化等料金」（リサイクル料金）、あるいは不法投棄に対する罰金額を変更するには、法律の改正といった過程を経なければならず、かなり厄介なものとなる。これらの政府政策と比べると、摘発確率のコントロールは比較的容易な政策と言える。人件費を増加させてパトロール人員を増やし、不法投棄の取り締まりを強化することによって、摘発確率を上昇させることが可能となるからである。逆に、人件費を削減して取り締まりを緩和すれば、摘発確率を下げることも可能となる。

また、上述したように、本章では、「家電リサイクル法」を想定し、消費者（家計）と家電メーカー（企業）という経済主体と、それをつなぐ財市場を考慮したモデルを構築する（【図 2】を参照）。このモデルは、第 1 章で示した「概念図」の上半分に注目したものとなる。「家電リサイクル法」によると、小売業者を通じて、家計から不用家電を引き渡された家電メーカーには、その材料を再び家電製品の材料などとして使えるように

リサイクルが義務づけられている。したがって、モデルを構築する際には、小売業者は引き渡し業務を行っているだけであり、そこに廃棄物市場は存在しないと仮定する。そして、家電メーカーが財の生産とリサイクルを同時に行うものとするため、リサイクル資源市場も存在しないことになる。以上のように、第 2 章では、消費者を「家計」、家電メーカーを「企業」とみなし、家計と企業という 2 つの経済主体と、両者をつなぐ財市場を考慮したモデルを考える。

次節以降の本章の構成は以下のとおりである。次の第 2 節では、モデルの枠組みを説明する。家計および企業の最適化を考えたのち、財市場の均衡条件を適用する。続く第 3 節では、不法投棄に対する摘発確率に注目し、比較静学分析を行う。そして第 4 節では、本章のまとめと考察を行う。

2.2 モデル

本節では、モデルの枠組みを示すとともに、家計および企業の最適化行動、財市場の均衡について考える[8]。

2.2.1 モデルの枠組み

本章のモデルでは、リサイクル可能な財を消費する家計と、その財を生産する企業という 2 つの経済主体を考える。どちらも、完全競争市場において、プライステイカー（価格受容者）であると仮定するが、単純化のために、数は 1 であるとする。

家計がリサイクル可能な財を x_D 単位消費した場合、その結果発生する廃棄物も x_D 単位であると仮定する。この x_D 単位の廃棄物の処理方法に関して、家計は、リサイクルごみとして適切に排出する（以下では、「合法処理」と表記）か、あるいは不法投棄を行うかという 2 つの選択肢を持つものとする。家計廃棄物 x_D 単位のうち、合法処理される量は w 、残りの $x_D - w$ は不法投棄される量とする[9]。家計によって合法処理された廃棄物

[8]第 2 章および第 3 章のモデル分析は、Onoda, M. (2012), On Second-best Policing Effort against the Illegal Disposal of Recyclable Waste, *Environmental Economics and Policy Studies,* 14, 171–188 に基づくものである。

[9]Fullerton and Kinnaman (1995) によると、家計はごみ、リサイクル、不法投棄という 3 つの選択肢を持つと仮定しているが、本研究における家計の選択肢は、合法処理するか、不法投棄するかの 2 つだけであると仮定している。また、家計によって合法処理されなかった廃家電、すなわちモデルの不法投棄量 $x_D - w$ に相当する量のうちの大部分は、中古品として海外へ輸出されているのが現状である。しかし、第 2 章のモデルでは、輸出の可能性を考慮しない「閉鎖経済モデル」を仮定し、$x_D - w$ を「不法投棄量」とみなす。なお、本章のモデルは、古紙の市場に置き換えて考えることも可能である。ただし、古紙の市場では、廃家電の市場ほど、不法投棄の摘発が行われているとは考えにくく、その点は注意が必要である。

w は、企業のもとに運ばれ、リサイクルされて財として生まれ変わる。

一方、企業は、財の生産とリサイクルとを同時に行うものとする。企業が財の生産を行う際にも 2 つの選択肢があるとする。1 つめはバージン資源を用いて生産を行うというものであり、2 つめは、家計から運ばれたごみをリサイクルし、その結果生み出されたリサイクル資源を用いて生産を行うものである。そして、リサイクルできずに残ってしまった残余廃棄物について、本論文では「残余廃棄物は、埋立補助金を受け取って埋め立てることが可能である」という仮定を置いている。ここで、リサイクル量＝リサイクル資源量を r とすると、残余廃棄物量は $w - r$ と表すことができる[10]。そして、家計と企業を結ぶ財市場においては、企業はバージン資源とリサイクル資源を用いて x_S の生産を行い、家計は x_D の消費を行うこととなり、財市場の均衡が成立する。

次に、家計の行動、企業の行動、そして財市場の均衡について、具体的に見ていく。

2.2.2 家計の行動

まず、家計の行動について見ていく。本モデルでは、非常に合理的で賢明な家計を仮定し、財を購入する際には、廃棄物処理のことまで考えるものとする。つまり、家計は、購入した財を使い終えた後に残る廃棄物をどのように処理すべきかということまで念頭に置き、その財の購入量を決定するものとする。前述したように、家計による廃棄物処理方法には合法処理と不法投棄の 2 つがあるが、どちらにも費用がかかるとする。合法処理の場合の費用は、廃家電をリサイクルに出す際に負担する料金（いわゆる、「収集運搬料金」や「再商品化等料金」など）や、一般廃棄物をごみ収集所まで運搬する労力（物理的費用）である。一方、不法投棄の場合の費用は、それが発覚した際に科せられる罰金や、発覚を恐れる心理的負担（心理的費用）などが挙げられる。

それでは、家計廃棄物の処理に関して、家計がどのような選択を行うのかを見ていく。家計によって消費されたリサイクル可能な財 x_D 単位から、x_D 単位の廃棄物が発生する。家計は、この廃棄物 x_D のうちの w を合法処理し、残り $x_D - w$ を不法投棄するわけだが、廃棄物処理にかかる期待費用（ここでは、合法処理費用と不法投棄費用を合計したものと仮定）が最小となるように、合法処理量 w を選択するものとする。すなわち、家計は、(1) 式で示されるような「廃棄物処理費用 $C^H(x_D, w)$ の最小化問題」に基づいて行動して

[10]本論文では、信頼の失墜を恐れ、不法投棄を行わないような大企業を仮定している。したがって、家計の不法投棄のみに限定して分析を行う。

いることになる[11]。

$$\underset{w}{Min}\ C^H(x_D, w) = \alpha w + \frac{\beta}{2}w^2 + \left\{\pi\phi(x_D - w) + \frac{\eta}{2}(x_D - w)^2\right\}. \tag{1}$$

(1) 式において、$\alpha w + \frac{\beta}{2}w^2$ は合法処理にかかる費用を、そして $\left\{\pi\phi(x_D - w) + \frac{\eta}{2}(x_D - w)^2\right\}$ は不法投棄にかかる費用を表しているが、以下でもう少し詳しく説明する。

まず、合法処理にかかる費用 $\alpha w + \frac{\beta}{2}w^2$ から見ていく。αw（ただし、$\alpha > 0$）は、「家電リサイクル法」の「収集運搬料金」や「再商品化等料金」に該当する料金であり、廃家電をリサイクルに出す際に、家計が負担しなければならない費用を示している。ちなみに、第 3 章の社会的厚生分析では、この αw は、最終的には政府に支払われることとしている。2 項めの $\frac{\beta}{2}w^2$（ただし、$\beta > 0$）は、廃棄物を運搬する際の労力（物理的費用）を表している。ごみ収集所が遠く離れている場合や、ごみの重量が大きい場合などは、収集所まで運ぶだけでも一苦労である。この事実を踏まえ、廃棄物の量が増えるにつれて、運搬の労力も徐々に大きくなるものとし、逓増的費用関数を仮定する。

次に、不法投棄にかかる費用 $\left\{\pi\phi(x_D - w) + \frac{\eta}{2}(x_D - w)^2\right\}$ について見ていく。不法投棄とは、廃棄物や廃家電をこっそりと山奥などに投げ捨てることであるが、現行の法律では、不法投棄が見つかった場合には罰金が科せられることになっている[12]。ここで、不法投棄が発覚して摘発される確率（以下では、「摘発確率」と表記）を π（ただし、$0 \leq \pi \leq 1$）、不法投棄 1 単位あたりの罰金額を ϕ（ただし、$\phi > 0$）とし、この摘発確率 π と罰金額 ϕ との積 $\pi\phi$ を「期待罰金額」と呼ぶことにする。すなわち、$\pi\phi$ は、不法投棄 1 単位あたりの期待罰金額を表している。ちなみに、本論文のモデル分析では、政府が不法投棄の摘発確率 π をコントロールできるとし、比較静学分析を行う。例えば、不法投棄摘発のためのパトロール人員を増やすことにより、不法投棄の取り締まりを強化することは、摘発確率 π の上昇につながると考えられる。最後の項である $\frac{\eta}{2}(x_D - w)^2$（ただし、$\eta > 0$）は、不法投棄にかかわる心理的費用を示している。不法投棄を行う家計は、不法投棄が発覚されないかと常に恐れており、心理的負担（心理的費用）が大きいと考える。合法処理の運搬費用（物理的費用）$\frac{\beta}{2}w^2$ と同様に、この心理的費用についても、廃棄物の量が増えるにつれて、心理的負担も徐々に大きくなるものとし、逓増的費用関数を仮定する。

[11] 本モデルでは、$w \leq x_D$ を仮定するが、これは消費した財の量以上の廃棄物を出さない、ということである。すなわち、ボランティア精神で、隣近所のごみを拾うような家計は、考慮していない。

[12]「廃棄物処理法（廃棄物の処理及び清掃に関する法律）」（1970 年成立）（5 章第 25 条第 1 項 14 号）によると、不法投棄を行った者は、「五年以下の懲役若しくは千万円以下の罰金（法人に対しては 1 億円以下の罰金）に処し、又はこれを併科する」とある。

ここで、(1) 式で示される家計の廃棄物処理費用の最小化問題に関して、1 階の条件を求めると、(2) 式のようになる[13]。

$$\frac{\partial C^H(x_D, w)}{\partial w} = \alpha + \beta w - \pi\phi - \eta(x_D - w) = 0. \tag{2}$$

w に関して (2) 式を解くと、以下の式が得られる。

$$w^* = \frac{\eta}{\beta+\eta}x_D + \frac{\pi\phi - \alpha}{\beta+\eta}. \tag{3}$$

このとき、w^* は、家計の廃棄物処理費用の最小化を実現するような合法処理量の値であり、仮定より $0 < w^* < x_D$ である。

次に、家計の効用最大化問題を考える。本モデルでは、合理的な家計を仮定しているので、家計は、(3) 式の結果が所与のもとで、以下の (4)〜(6) 式で表されるような期待効用が最大となるように、財の需要量 x_D を決定するものとする[14]。

$$\underset{x_D,\ z}{Max}\ U(x_D, z) = \theta x_D - \frac{1}{2}(x_D)^2 + z, \tag{4}$$

$$s.t. \quad I = px_D + z + C^H(x_D, w^*), \tag{5}$$

$$w^* = \frac{\eta}{\beta+\eta}x_D + \frac{\pi\phi - \alpha}{\beta+\eta}. \tag{6}$$

ただし、(4) 式で表される $U(x_D, z)$ は、消費活動にかかわる代表的な家計の効用関数であり、本モデルでは準線形型に設定する。ここで、θ は家計廃棄物を生じさせる財 x_D に対する嗜好性を表すパラメータであり、財 x_D の限界効用は $\theta - x_D$ となる。一般的な効用関数の性質より、$\frac{\partial U(x_D,z)}{\partial x_D} > 0,\ \frac{\partial^2 U(x_D,z)}{\partial (x_D)^2} < 0$ が成立すると仮定すると、$0 < x_D < \theta$ という条件を設定する必要がある[15]。一方、(5) 式は家計の所得制約を表した式であり、I（ただし、$I > 0$）は家計の所得、p（ただし、$p > 0$）は財 x_D1 単位あたりの価格である。また、z（ただし、$z > 0$）は廃棄物を生じさせない合成財の消費量であり、価格は 1 に基

[13] $\frac{\partial^2 C^H(x_D,w)}{\partial w^2} = \beta + \eta > 0$ より、極小のための 2 階の条件は常に満たされる。

[14] 本章のモデルでは、家計による廃棄物処理費用の最小化問題を考えたのち、効用最大化問題を考えるというように、「2 段階」で解いている。しかし、廃棄物処理費用をも考慮に入れた効用最大化問題として、同時に（「1 段階」的に）解いたとしても、次節で示す命題 1〜命題 3 の結果は、本質的には変わらない。この点については、数学付録 1 を参照。

[15] (4) 式より、$\frac{\partial U(x_D,z)}{\partial x_D} = \theta - x_D > 0,\ \frac{\partial^2 U(x_D,z)}{\partial (x_D)^2} = -1\,(< 0)$ となる。また、$x_D > 0$ より、$0 < x_D < \theta$ という条件を導出することができる。

準化する。家計は、所得 I を、財の購入額 $px_D + z$ と、(1) 式で表される家計による廃棄物の処理費用 $C^H(x_D, w^*)$ に充てる。

以上を踏まえ、(1) 式および (6) 式を (5) 式に適用し、さらにその (5) 式を (4) に代入して z を消去すると、(4)〜(6) 式で表される家計の効用最大化問題は、次のように書き換えることができる。

$$\begin{aligned}\underset{x_D}{Max}\ U\left(x_D\right) = \theta x_D - \frac{1}{2}\left(x_D\right)^2 \\ + \left\{ I - px_D - \frac{\beta\eta}{2\left(\beta+\eta\right)}\left(x_D\right)^2 - \frac{\alpha\eta+\beta\pi\phi}{\beta+\eta}x_D + \frac{\left(\pi\phi-\alpha\right)^2}{2\left(\beta+\eta\right)} \right\}.\end{aligned} \tag{7}$$

この効用最大化問題に関して、1 階の条件を求めると、以下のようになる。

$$\frac{\partial U\left(x_D\right)}{\partial x_D} = \theta - x_D - p - \frac{\beta\eta}{\beta+\eta}x_D - \frac{\alpha\eta+\beta\pi\phi}{\beta+\eta} = 0. \tag{8}$$

(8) 式より、家計の逆需要関数は、次の式のように求めることができる。

$$p^D\left(x_D\right) = -\left(\frac{\beta+\eta+\beta\eta}{\beta+\eta}\right)x_D + \left(\theta - \frac{\alpha\eta+\beta\pi\phi}{\beta+\eta}\right). \tag{9}$$

2.2.3 企業の行動

次に、企業の行動について見ていく。まず、本章で扱うモデルの特徴を 2 つ挙げることにする。1 つめの特徴は、廃棄物市場における取引を考慮していない点であり、家計の最適化行動に基づいて合法処理された廃棄物（w^* と表記）は企業にとって所与である。2 つめの特徴は、リサイクルされずに残った残余廃棄物を埋立処理することで、企業は補助金を受け取っていると仮定している点である。以下では、モデルの説明をしつつ、この 2 つの特徴についても触れていく。

本モデルでは、財の生産とリサイクルを同時に行う企業を考える。企業は、家計廃棄物の一部をリサイクルすることにより、リサイクル資源 r（ただし、$r > 0$）を生み出す。ただし、モデルの特徴の 1 つめでも述べたように、この家計廃棄物は、家計の最適化行動に基づいて合法処理された廃棄物 w^* であり、企業にとっては所与と考える。合法処理された家計廃棄物 w^* は、政府回収などによって制度的に企業のもとへ運ばれてくると仮定し、廃棄物市場における取引は考慮しない。つまり、家計廃棄物は自動的に企業に分

配され、そこでは市場の価格メカニズムは機能していないことになる[16]。このようにして生み出されたリサイクル資源 r と、新たに抽出したバージン資源 v（ただし、$v > 0$）を用い、企業は、リサイクル可能な財 x_S を生産し販売する。また、家計廃棄物 w^* のうち、リサイクルされずに残った残余廃棄物 $w^* - r$ は、企業が埋立補助金を受け取って埋立処理すると仮定する。この仮定が、モデルの特徴の 2 つめということになる。

ここで、企業による費用最小化問題を考える。本モデルでは、企業にとっての総費用を、(10) 式の $C^P(v, r)$ のように仮定する。つまり、リサイクルおよび財の生産にかかる費用 $p_v v + p_r r$ と、残余廃棄物を埋立処理することによって得られる収入、すなわち、マイナスの費用 $-\gamma(w^* - r)$ を合計したものと考える。このとき、この総費用 $C^P(v, r)$ が最小となるように、バージン資源 v とリサイクル資源 r を選ぶものとする。したがって、企業による費用最小化問題は、以下の (10)〜(12) 式のように表すことができる。

$$\underset{v,r}{Min}\ C^P(v, r) = p_v v + p_r r - \gamma(w^* - r), \tag{10}$$

$$s.t.\quad w^* = \frac{\eta}{\beta + \eta} x_S + \frac{\pi\phi - \alpha}{\beta + \eta}, \tag{11}$$

$$x_S = v^\tau r^\rho. \tag{12}$$

ここで、p_v はバージン資源 1 単位あたりの価格、p_r はリサイクル資源 1 単位あたりにかかわるリサイクル費用、そして γ は残余廃棄物 1 単位あたりの埋立補助金とする（ただし、それぞれ、$p_v > 0,\ p_r > 0,\ \gamma > 0$ と仮定）。バージン資源 v は、本モデルでは考慮していない別の市場において、1 単位あたり p_v という価格で購入できるとする。また、家計から運ばれてきた廃棄物をリサイクルしリサイクル資源を生み出す過程で、企業は、リサイクル資源 1 単位あたり p_r のリサイクル費用を負担するものとする。一方、企業は、家計廃棄物のうちリサイクルされなかった残りの残余廃棄物 $(w^* - r)$ を埋立処理するが、その際、1 単位あたり γ という埋立補助金を受け取ることができるとしている。

この費用最小化問題を考える際には、(11) 式と (12) 式で示される 2 つの制約条件を踏まえて解くことになる。1 つめの制約条件式 (11) は、モデルの特徴の 1 つめと関連しており、家計によって合法処理された廃棄物 w^* は、政府回収などによって自動的に企業へと

[16]第 4 章および第 5 章の 3 市場 3 経済主体モデルでは、廃棄物市場やリサイクル業者についても考慮している。

分配され企業にとっては所与である。この式は、家計の最適化行動によって得られた (6) 式と全く同じものである[17]。2つめの制約条件式 (12) は、企業の生産関数を表している。ここで、τ はバージン資源 v を利用して生産を行った場合の生産性パラメータであり、ρ はリサイクル資源 r を利用して生産を行った場合の生産性パラメータとする（ただし、規模に関して収穫逓減であるとし、$0<\tau<1,\ 0<\rho<1,\ 0<\tau+\rho<1$ と仮定)。

(11)(12) 式を (10) 式に代入することにより、(10)〜(12) 式で示される企業の費用最小化問題を、以下のように書き換えることができる[18]。

$$
\begin{aligned}
\underset{v,r}{Min}\ C^P(v,r) &= p_v v + p_r r - \gamma\left\{\left(\frac{\eta}{\beta+\eta}x_S + \frac{\pi\phi-\alpha}{\beta+\eta}\right) - r\right\} \\
&= p_v v + (p_r+\gamma)\,r - \gamma\left(\frac{\eta}{\beta+\eta}v^{\tau}r^{\rho} + \frac{\pi\phi-\alpha}{\beta+\eta}\right). \qquad (13)
\end{aligned}
$$

ここで、(13) 式で表される費用最小化問題に関して、1階の条件を求めると、以下のようになる[19]。

$$\frac{\partial C^P(v,r)}{\partial v} = p_v - \gamma\frac{\eta}{\beta+\eta}\tau v^{\tau-1}r^{\rho} = 0, \qquad (14)$$

$$\frac{\partial C^P(v,r)}{\partial r} = (p_r+\gamma) - \gamma\frac{\eta}{\beta+\eta}\rho v^{\tau}r^{\rho-1} = 0. \qquad (15)$$

次に、(14) 式と (15) 式を、それぞれ v と r について解き、(12) 式に代入すると、以下の2つの式が得られる。

[17]家計によって合法処理された廃棄物が、自動的に企業へ分配されるメカニズムとしては、以下のように解釈することが可能である。例えば、本章のモデルのように、家電を廃棄する「家計」と、その家電のリサイクルと生産を同時に行っている「家電メーカー（企業)」が存在しており、家計が廃家電をリサイクルに出すケースを仮定する。このとき、家計と家電メーカーとの間には、「小売店」が存在していると考えられるが、この小売店の役割は、家計によって合法処理された廃棄物を、自動的に企業に引き渡すだけである。また、一般的なケースとしては、家計廃棄物を、政府や自治体が回収することによって、自動的に企業に分配されるケースとして解釈できる。

[18]ただし、$w^*>r$、すなわち $\frac{\eta}{\beta+\eta}v^{\tau}r^{\rho}+\frac{\pi\phi-\alpha}{\beta+\eta}>r$ と仮定する。これは、家計の合法処理によって運び込まれてきた最適廃棄物量 w^* のうちの一部（すべてではない）は、企業によってリサイクルされてリサイクル資源に生まれ変わるが、残りは必ず、残余廃棄物として埋立処理されるということを意味している。つまり、残余廃棄物量が、ゼロあるいはマイナスになることはないということである。また、数学的には、企業による残余廃棄物量 (w^*-r) が内点解を持つことをも意味している。

[19] $\frac{\partial^2 C^P}{\partial v^2} = -\gamma\frac{\eta}{\beta+\eta}\tau(\tau-1)v^{\tau-2}r^{\rho} > 0,\ \frac{\partial^2 C^P}{\partial r^2} = -\gamma\frac{\eta}{\beta+\eta}\rho(\rho-1)v^{\tau}r^{\rho-2} > 0,$
$\begin{vmatrix} \frac{\partial^2 C^P}{\partial v^2} & \frac{\partial^2 C^P}{\partial v\partial r} \\ \frac{\partial^2 C^P}{\partial r\partial v} & \frac{\partial^2 C^P}{\partial r^2}\end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -\gamma\frac{\eta}{\beta+\eta}\tau(\tau-1)v^{\tau-2}r^{\rho} & -\gamma\frac{\eta}{\beta+\eta}\tau\rho v^{\tau-1}r^{\rho-1} \\ -\gamma\frac{\eta}{\beta+\eta}\tau\rho v^{\tau-1}r^{\rho-1} & -\gamma\frac{\eta}{\beta+\eta}\rho(\rho-1)v^{\tau}r^{\rho-2}\end{vmatrix}$
$= \left(\gamma\frac{\eta}{\beta+\eta}v^{\tau-1}r^{\rho-1}\right)^2\tau\rho(1-\tau-\rho) > 0.\ (\because 0<\tau<1,\ 0<\rho<1,\ 0<\tau+\rho<1.)$ となり、極小のための2階の条件も満たされる。

$$v=\left[\left\{\frac{\tau\left(p_r+\gamma\right)}{\rho p_v}\right\}^{\rho}\ x_S\right]^{\frac{1}{\tau+\rho}}, \tag{16}$$

$$r=\left[\left\{\frac{\tau\left(p_r+\gamma\right)}{\rho p_v}\right\}^{-\tau}\ x_S\right]^{\frac{1}{\tau+\rho}}. \tag{17}$$

さらに、(16)(17) 式および (13) 式を用い、企業の費用関数 C^P を財 x_S の関数として書き換えると、(18) 式のように表すことができる。

$$C^P\left(x_S\right)=C^{v,r}\cdot\left(x_S\right)^{\frac{1}{\tau+\rho}}-\gamma\left(\frac{\eta}{\beta+\eta}x_S+\frac{\pi\phi-\alpha}{\beta+\eta}\right). \tag{18}$$

ただし、$\left[p_v\left\{\frac{\tau(p_r+\gamma)}{\rho p_v}\right\}^{\frac{\rho}{\tau+\rho}}+\left(p_r+\gamma\right)\left\{\frac{\tau(p_r+\gamma)}{\rho p_v}\right\}^{-\frac{\tau}{\tau+\rho}}\right]$ を $C^{v,r}$ と表記する。

ここで、企業の利潤最大化問題を考える。企業は、以下の (19) 式で表される利潤 $\Pi\left(x_S\right)$ が最大となるように、生産量 x_S を選択するものとする[20]。

$$\underset{x_S}{Max}\ \Pi\left(x_S\right)=px_S-C^P\left(x_S\right). \tag{19}$$

この最大化問題に関して、1 階の条件を求めると、以下のようになる。

$$\frac{\partial\Pi\left(x_S\right)}{\partial x_S}=p-MC^P\left(x_S\right)=0. \tag{20}$$

さらに、(18) 式と (20) 式を適用すると、(21) 式で示されるような企業の逆供給関数 $p^S\left(x_S\right)$ を求めることができる。

$$\begin{aligned}p^S\left(x_S\right)&=MC^P\left(x_S\right)\\&=\left(\frac{1}{\tau+\rho}\right)C^{v,r}\cdot\left(x_S\right)^{\frac{1}{\tau+\rho}-1}-\gamma\frac{\eta}{\beta+\eta}.\end{aligned} \tag{21}$$

[20] 本章のモデルでは、企業の費用最小化問題を考えたのち、利潤最大化問題を考えるというように「2 段階」で解いている。しかし、企業の費用をも含めた利潤最大化問題として、同時に（「1 段階」的に）解いたとしても、次節で示す命題 1〜命題 3 の結果は、本質的には変わらない。この点については、数学付録 1 を参照。また、企業が独占であるケースについては、補論 1 を参照。

2.2.4　財市場の均衡

(9) 式と (21) 式を、市場の均衡条件式、すなわち $p^* = p^D(x_D) = p^S(x_S)$ に代入することにより、以下の式が得られる。

$$\left\{-\left(\frac{\beta+\eta+\beta\eta}{\beta+\eta}\right)x_D + \left(\theta - \frac{\alpha\eta+\beta\pi\phi}{\beta+\eta}\right)\right\} = \left(\frac{1}{\tau+\rho}\right)C^{v,r}\cdot(x_S)^{\frac{1}{\tau+\rho}-1} - \gamma\frac{\eta}{\beta+\eta}. \tag{22}$$

ここで、(22) 式を満たすような財の均衡量を、$x^*\,(=x_D^* = x_S^*)$ と表すことにする。

次節では、(22) 式を用いて比較静学分析を行う。

2.3　比較静学分析

本節では、政府による不法投棄の摘発確率 π に注目し、比較静学分析を行う。家計による廃棄物の不法投棄に対し、例えば政府は、パトロール人員を増やして取り締まりを強化することで、摘発確率 π を上昇させることができる。逆に、パトロール人員を減らして取り締まりを緩和することは、摘発確率 π を下落させることにつながる。つまり、この確率 π は、政府による不法投棄の取り締まり水準、あるいはモニタリングレベルなどと言い換えることもできるが、以下では「摘発確率」と表現を統一する。

前節で示した市場の均衡条件式 (22) に、陰関数の定理を適用すると、以下のような比較静学の結果が得られる[21]。

$$\frac{dx^*}{d\pi} < 0. \tag{23}$$

ただし、$x^*\,(=x_D^* = x_S^*)$ とする。

$$\frac{dp^*}{d\pi} < 0. \tag{24}$$

$$\frac{dw^*}{d\pi} > 0. \tag{25}$$

$$\frac{d\,(x^*-w^*)}{d\pi} = \frac{dx^*}{d\pi} - \frac{dw^*}{d\pi} < 0. \tag{26}$$

このとき、各変数の $*$ はそれぞれ、均衡値を表しており、x^* は均衡における財の量、p^* は均衡における財の価格を示している。また、w^* は均衡における家計廃棄物の合法処理量、(x^*-w^*) は均衡における家計廃棄物の不法投棄量である。

[21] (23)〜(26) 式の計算の詳細については、数学付録 2 を参照。

(25) 式および (26) 式は、直観的にも納得しやすいと考えられる。政府による摘発確率 π が上昇し、不法投棄の取り締まりが強化されると、均衡においては、家計廃棄物の合法処理量が増加し（(25) 式)、不法投棄量は減少する（(26) 式）ことになる。ここで着目したいのは、(23) 式の結果である。この式は、摘発確率 π が下落して取り締まりが緩和されると、均衡においては、財自体の量 x^* が増加することを示しているが、この事実が、以下の命題、および本章の結論に大きくかかわってくる。

それでは次に、(22) 式を用いて比較静学分析を行った結果得られた、3 つの命題を見ていく。

命題 1. 政府による不法投棄の摘発確率が下落し、不法投棄の取り締まりが緩和されると、均衡におけるリサイクル量は増加する。

【証明】 (17) 式と (23) 式を用いると、次の式が得られる。

$$\frac{dr^*}{d\pi} = \frac{dr^*}{dx_S^*} \cdot \frac{dx_S^*}{d\pi} = \left(\frac{1}{\tau+\rho}\right)\left\{\frac{\tau\left(p_r+\gamma\right)}{\rho p_v}\right\}^{-\frac{\tau}{\tau+\rho}} (x_S)^{\frac{1}{\tau+\rho}-1} \cdot \frac{dx^*}{d\pi} < 0. \tag{27}$$

（証明終）

(23) 式より、不法投棄の摘発確率 π が下落して取り締まりが緩和されると、家計は財そのものの購入を増やすようになり、均衡における財の需要量 x_D^* が増加する。そして、この需要量 x_D^* の増加が、均衡における財の供給量 x_S^* の増加へとつながる。また、(17) 式からも明らかなように、財の供給量 x_S が増加し、企業が財の生産を増やすことが必要になると、財の原料の 1 つであるリサイクル資源 r も増加することになる。つまり、均衡においては、財の供給量 x_S^* の増加により、リサイクル量 r^* 自体が増加することになる。

命題 2. 政府による不法投棄の摘発確率が上昇し、不法投棄の取り締まりが強化されると、均衡におけるバージン資源量は減少する。

【証明】 (16) 式と (23) 式を用いることにより、次の式が得られる。

$$\frac{dv^*}{d\pi} = \frac{dv^*}{dx_S^*} \cdot \frac{dx_S^*}{d\pi} = \left(\frac{1}{\tau+\rho}\right)\left\{\frac{\tau\left(p_r+\gamma\right)}{\rho p_v}\right\}^{\frac{\rho}{\tau+\rho}} (x_S)^{\frac{1}{\tau+\rho}-1} \cdot \frac{dx^*}{d\pi} < 0. \tag{28}$$

（証明終）

命題 1 とは逆に、摘発確率 π の上昇といった取り締まり強化策がとられると、(23) 式より、均衡においては、財の需要量 x_D^* および財の供給量 x_S^* が減少する。そして、(16)

式からも明らかなように、財の供給量 x_S が減少し、企業が財をそれほど生産する必要がなくなると、財の原料の1つであるバージン資源 v の使用量自体も減少する。つまり、不法投棄の摘発確率 π の上昇により、均衡におけるバージン資源量 v^* は減少するのである。

命題 3. 政府による不法投棄の摘発確率が下落し、不法投棄の取り締まりが緩和されると、均衡における残余廃棄物量は減少する。

【証明】 (25) 式と命題 1 を利用すると、次の式が得られる。

$$\frac{d\left(w^*-r^*\right)}{d\pi}=\frac{dw^*}{d\pi}-\frac{dr^*}{d\pi}>0. \tag{29}$$

（証明終）

摘発確率 π の下落といった取り締まり緩和策がとられた場合、均衡において、家計による廃棄物の合法処理量 w^* は減少する（(25) 式）ものの、企業によるリサイクル量 r^* は増加する（命題 1)。したがって、均衡における残余廃棄物量 (w^*-r^*) は、家計の合法処理量 w^* の減少と企業のリサイクル量 r^* の増加により、全体としては減少する。

2.4 まとめと考察

第 2 章のまとめと考察は、以下のようになる。

本章では、「家電リサイクル法」をベースとし、家計と企業（家電メーカー）という 2 つの経済主体と、それをつなぐ財市場を考慮したモデルを構築し、政府による不法投棄の摘発確率に注目し、比較静学分析を行った。その結果、企業によるリサイクル量を増加させるためには、政府が摘発確率を下落させ、家計の不法投棄への取り締まりを緩和すべきである（命題 1 の (27) 式）ことが示された。一方、バージン資源量の減少を目指すためには、政府が摘発確率を上昇させて取り締まりを強化することが必要となり（命題 2 の (28) 式)、摘発確率を逆方向に動かさなくてはいけない。つまり、摘発確率の操作という 1 つの政策手段を用いただけでは、リサイクル量の増加とバージン資源量の減少という 2 つの政策目標を同時に達成することは不可能である。また、企業による残余廃棄物量を減少させるためには、政府が摘発確率を下落させて取り締まりを緩和すべきである（命題 3 の (29) 式）ことが示された。以上のように、政府が摘発確率を下落させ、家計の不法投棄への取り締まり緩和策をとった場合、リサイクル量の増加や残余廃棄物の減少といった政策目標は達成されるものの、バージン資源量の減少という目標を同時に達成することはできないことになる。このように、元々は家計に対して行った政府政策

（ここでは、摘発確率の下落）が、企業の行動にまで影響を及ぼすことがわかる。摘発確率が下落して不法投棄の取り締まりが緩やかになると、家計は、廃棄物の合法処理量を減少させたり（(25) 式)、不法投棄量を増加させたり（(26) 式）することで対応しようとする。摘発確率の下落による影響はこれでとどまることはなく、どれだけの量のリサイクルを行うか、どれだけのバージン資源量が必要か、そして残余廃棄物をどのくらいにすべきかといった企業の行動へも影響する。摘発確率の下落という取り締まり緩和策がとられると、企業はリサイクル量およびバージン資源量を増加させると同時に、残余廃棄物量を減少させることになる。

最後に、本章のモデルの背後にあるメカニズムについて、考察する。

摘発確率を下落させることによって不法投棄の取り締まりを緩和することは、家計による廃棄物の合法処理量 w^* の減少をもたらす（(25) 式）だけでなく、財の需要量 x_D^* の増加をもたらす（(23) 式)。前者の影響、すなわち合法処理量 w^* の減少は、潜在的な（将来の）リサイクル資源 r^* の減少へとつながると考えられる。なぜならば、家計によって合法処理された廃棄物は、企業によってリサイクルされてリサイクル資源へと生まれ変わるからである。一方、後者の影響、すなわち、財の需要量 x_D^* の増加により、企業は生産量自体を増やすと考えられる。生産量自体が増加すると、その生産に必要なバージン資源量 v^* およびリサイクル資源量 r^* も増加することになる。しかしながら、本モデルでは、企業のもとに運ばれてきた家計廃棄物 w^* は企業にとって所与であり（モデルの特徴の 1 つめより)、この廃棄物のうち、リサイクルされずに残った残余廃棄物は、すべて埋立処理することで埋立補助金を受け取るものと仮定している（モデルの特徴の 2 つめより)。つまり、本モデルでは、家計と企業が、財市場を通じて結びついているという「循環型モデル」を考慮していたが、残余廃棄物の埋立可能性を考慮したことにより、そこにモデルの「切れ目」ができたことになる。したがって、家計廃棄物 w^* の減少が将来のリサイクル資源 r^* の減少へとつながるという、前者の「波及効果」は、残余廃棄物の埋立という形をとることにより、事実上働かなくなる。その結果、財の需要量 x_D^* の増加がリサイクル資源量 r^* の増加へとつながるという、後者の「波及効果」のみが残ることになり、リサイクル資源量 r^* が増加する（命題 1）一方、残余廃棄物量 $(w^* - r^*)$ は減少する（命題 3）という結果が得られるのである。

第 2 章の比較静学分析の結果を、「摘発確率 π の上昇」という不法投棄の取り締まり強化策を用いた場合、以下のような 5 つの政策目標が達成可能かどうかという観点で整

理してみると、【表 2】のようになる。ここで考慮する 5 つの政策目標とは、家計による廃棄物の合法処理量の増加、不法投棄量の減少、そして、企業によるリサイクル量の増加、バージン資源量の減少、残余廃棄物量の減少である[22]。

【表 2】摘発確率の上昇による、政策目標の達成可能性

（政策目標）	（政策手段）不法投棄の摘発確率 π の上昇
家計廃棄物の合法処理量 w^* の増加	○
家計廃棄物の不法投棄量 $(x^* - w^*)$ の減少	○
リサイクル量 r^* の増加	×
バージン資源量 v^* の減少	○
残余廃棄物量 $(w^* - r^*)$ の減少	×

補論 1：企業が独占であるケース

この補論では、企業が完全競争ではなく独占であるケースを考える。

まず、独占企業の収入は、以下のように表すことができる。

$$R(x) = p^D(x) \cdot x. \tag{補 1-1}$$

ここで、第 2 章第 2 節で導出した家計の逆需要関数 (9) 式を用い、独占企業の限界収入を求めると、次のようになる[23]。

$$\begin{aligned} MR(x) &= \frac{\partial p^D(x)}{\partial x} \cdot x \quad + \quad p^D(x) \cdot 1 \\ &= -\left(\frac{\beta+\eta+\beta\eta}{\beta+\eta}\right) \cdot x \quad + \left[-\left(\frac{\beta+\eta+\beta\eta}{\beta+\eta}\right) x + \left(\theta - \frac{\alpha\eta+\beta\pi\phi}{\beta+\eta}\right)\right] \\ &= -2\left(\frac{\beta+\eta+\beta\eta}{\beta+\eta}\right) x + \left(\theta - \frac{\alpha\eta+\beta\pi\phi}{\beta+\eta}\right). \end{aligned} \tag{補 1-2}$$

[22]家計による「廃棄物の合法処理量の増加」という政策目標は (25) 式と関連し、「不法投棄量の減少」は (26) 式と関連している。また、企業による「リサイクル量の増加」は命題 1（(27) 式)、「バージン資源量の減少」は命題 2（(28) 式)、「残余廃棄物量の減少」は命題 3（(29) 式）と、それぞれ関連している。なお、すべて均衡における数量を考えている。

[23](9) 式より、家計の逆需要関数は、以下のように求められた。
$p^D(x_D) = -\left(\frac{\beta+\eta+\beta\eta}{\beta+\eta}\right) x_D + \left(\theta - \frac{\alpha\eta+\beta\pi\phi}{\beta+\eta}\right).$

独占企業の利潤最大化条件「限界収入 $MR(x) =$ 限界費用 $MC^P(x_S)$」より、第 2 章第 2 節で求めた (22) 式は、以下のように書き換えることができる。

$$\left\{-2\left(\frac{\beta+\eta+\beta\eta}{\beta+\eta}\right)x_D+\left(\theta-\frac{\alpha\eta+\beta\pi\phi}{\beta+\eta}\right)\right\}=\left(\frac{1}{\tau+\rho}\right)C^{v,r}\cdot(x_S)^{\frac{1}{\tau+\rho}-1}-\gamma\frac{\eta}{\beta+\eta}. \tag{補 1-3}$$

この式は、(22) 式の左辺第 1 項 $\left(\frac{\beta+\eta+\beta\eta}{\beta+\eta}\right)x_D$ の前に係数 2 がついただけであり、質的な変化ではなく量的な変化と言える。したがって、比較静学分析の結果も、量的変化が生じることになる。このことを踏まえ、政府による不法投棄の摘発確率 π が上昇した場合の比較静学分析の結果に関し、企業が完全競争のケースと、独占のケースとで比較を行う。均衡における各数量の変化の度合いの大きさに着目してまとめると、以下のようになる。

まず、摘発確率が上昇して不法投棄に対する取り締まりが強化されると、均衡における財の量 x^* は、完全競争のケースと同様に、独占のケースでも減少するが、その減少度合いは完全競争のほうが大きくなる。また、均衡における家計廃棄物の合法処理量 w^* の変化の度合いに関しては、独占のほうが大きくなる。さらに、均衡における家計廃棄物の不法投棄量 (x^*-w^*) の減少度合いは、完全競争のほうが独占よりも大きくなる。以上のように、本研究のモデルの比較静学分析において、企業が独占のケースを考えた場合、量的な変化は生じるものの質的な変化は生じないと言える。したがって、本論文では、企業が完全競争であるという仮定のもとで分析を行っている。

次の第 3 章では、第 2 章で提示したモデルをもとに、社会的厚生関数を設定し、「不法投棄に対する政府の最適摘発確率」について、比較静学分析を行う。

3　社会的厚生分析

本章では、2つの環境被害費用（家計の不法投棄による被害費用と、残余廃棄物による被害費用）に注目し、社会的厚生の最大化という観点から、廃棄物処理に関する政府の最適政策を分析する。まず、第2章のモデルをもとに、社会的厚生関数を設定し、社会的厚生を最大にするような不法投棄の摘発確率（これを、以下では、「不法投棄に対する政府の最適摘発確率」と表記）を考える。そして、上述の環境被害費用に変化が生じた場合、この最適摘発確率をどのように操作するのが望ましいのかについて、検討する。

本章の構成は以下のとおりである。まず第1節において、社会的厚生関数を設定し、社会的厚生が最大となるような不法投棄の摘発確率を考える。それを踏まえ、続く第2節では、環境被害費用に変化が生じた場合、政府が不法投棄の最適摘発確率をどのように操作すべきかを検討する。そして第3節では、本章のまとめと考察を行う。

3.1　社会的厚生関数の設定

本章では、社会的厚生関数を以下のように設定する。

$$
\begin{aligned}
W\left(p, x_D, w, v, r\right) &= CS + PS + GB - EC \\
&= \left\{\theta x_D - \frac{1}{2}\left(x_D\right)^2 + \left(I - p x_D - \alpha w - \frac{\beta}{2}w^2 - \pi\phi\left(x_D - w\right) - \frac{\eta}{2}\left(x_D - w\right)^2\right)\right\} \\
&\quad + \left[p(v^{\tau} r^{\rho}) - \{p_v v + p_r r - \gamma(w - r)\}\right] \\
&\quad + \left[\{\alpha w + \pi\phi\left(x_D - w\right)\} - \left\{\gamma(w - r) + \frac{\mu}{2}\pi^2\right\}\right] \\
&\quad - \left\{\delta_d(x_D - w) + \delta_l\left(w - r\right)\right\}. \qquad (30)
\end{aligned}
$$

ここで、CS は消費者余剰であり、家計の廃棄物処理費用をも考慮した（控除した）効用として表されるものとする。PS は生産者余剰であり、完全競争市場を仮定し、企業の利潤と同値であるとする。また、GB は、政府の期待純便益を表しており、ここでは、家計から得られる政府の収入（家計による合法処理廃棄物からの収集料金収入 αw と、不法投棄に対する期待罰金収入 $\pi\phi\left(x_D - w\right)$ との合計）と、政府の費用（企業に支払う埋立補助金 $\gamma(w - r)$ と不法投棄の摘発に要する費用 $\frac{\mu}{2}\pi^2$）との差として定義する。ただし、不法投棄の摘発に要する政府費用は逓増型で表されるものとし、パラメータ μ（ただし $\mu > 0$）を用いて、$\frac{\mu}{2}\pi^2$ と仮定する。これは、不法投棄の取り締まりを強化し、不法投棄

の摘発確率 π を上昇させればさせるほど、政府の費用が大きくなるということを意味している。さらに、EC は環境被害費用であり、本章のモデルでは、家計の不法投棄による被害費用と、リサイクルされなかった残余廃棄物の被害費用の 2 つに注目する。単純化のために、不法投棄が発覚したか否か（政府に見つかったか否か）にかかわらず、不法投棄された廃棄物はすべて、1 単位あたり δ_d の被害費用がかかるものと仮定する。また、リサイクルされなかった残余廃棄物はすべて、1 単位あたり δ_l の被害費用がかかるものとする。

ここで、財 x_D に対する家計の支払い額 px_D は、企業の収入 $p(v^\tau r^\rho)$ と相殺される。同様に、合法処理廃棄物の収集料金、および不法投棄に対する期待罰金に関しても、家計と政府との間で相殺される。収集料金も罰金も、家計にとっての費用である一方、政府にとっての収入となるからである。また、企業が政府から受け取る埋立補助金 $\gamma(w-r)$ に関しても、企業と政府との間で相殺される。さらに、企業の費用を表す第 2 章の (18) 式を適用することにより、$p_v v + p_r r$ を $C^P(x_S) + \gamma(w-r)$ と書き直すことができる。以上を踏まえ、(30) 式を書き換えると、以下のようになる。

$$W(x_D, w, x_S, r) = \left\{\theta x_D - \frac{1}{2}(x_D)^2 + \left(I - \frac{\beta}{2}w^2 - \frac{\eta}{2}(x_D - w)^2\right)\right\} \\ - \left\{C^P(x_S) + \gamma(w-r)\right\} - \frac{\mu}{2}\pi^2 - \left\{\delta_d(x_D - w) + \delta_l(w-r)\right\}. \tag{31}$$

第 2 章のモデルでは、不法投棄の摘発確率 π に注目してきたが、本章でも「政府が操作できるのは、不法投棄に対する摘発確率 π のみである」という仮定を設定し、社会的厚生を最大とするような摘発確率 π について考える。ここで、均衡における財の量 x_D および x_S、均衡における家計廃棄物の合法処理量 w、そして均衡におけるリサイクル資源量 r が与えられたとき、社会的厚生の最大化問題は、以下のように表すことができる。

$$\underset{\pi}{Max}\ W(\pi) = \left[\theta x_D^* - \frac{1}{2}(x_D^*)^2 + \left\{I - \frac{\beta}{2}(w^*)^2 - \frac{\eta}{2}(x_D^* - w^*)^2\right\}\right] \\ - C^P(x_S^*) - \frac{\mu}{2}\pi^2 - \left\{\delta_d(x_D^* - w^*) + (\delta_l + \gamma)(w^* - r^*)\right\}. \tag{32}$$

この社会的厚生関数の最大化問題に関して、1 階の条件を求めると、以下のようになる[24]。

[24] $\frac{\partial F_W}{\partial \pi} < 0$ となるため、極大のための 2 階の条件も満たされる。計算の詳細は、数学付録 3 を参照。

$$\left[\left(\frac{\partial W}{\partial x_D^*}+\frac{\partial W}{\partial x_S^*}\right)\frac{dx^*}{d\pi}+\frac{\partial W}{\partial w^*}\cdot\frac{dw^*}{d\pi}+\frac{\partial W}{\partial r^*}\cdot\frac{dr^*}{d\pi}\right]+\frac{\partial W}{\partial \pi}=0. \tag{33}$$

ここで、(33) 式を満たすような摘発確率を、「不法投棄に対する政府の最適摘発確率」と呼ぶことにし、これを π^* と示す。(33) 式を F_W とおき、(32) 式の偏導関数 $\frac{\partial W}{\partial x_D^*}$、$\frac{\partial W}{\partial x_S^*}$、$\frac{\partial W}{\partial w^*}$ および $\frac{\partial W}{\partial r^*}$ を適用すると、F_W は以下のように表すことができる[25]。

$$\begin{aligned}F_W &\equiv \left[\left(\frac{\partial W}{\partial x_D^*}+\frac{\partial W}{\partial x_S^*}\right)\frac{dx^*}{d\pi}+\frac{\partial W}{\partial w^*}\cdot\frac{dw^*}{d\pi}+\frac{\partial W}{\partial r^*}\cdot\frac{dr^*}{d\pi}\right]+\frac{\partial W}{\partial \pi}\\ &=\left[(\pi\phi-\delta_d)\cdot\frac{dx^*}{d\pi}+\{(\alpha-\pi\phi)+(\delta_d-\delta_l-\gamma)\}\cdot\frac{dw^*}{d\pi}+(\delta_l+\gamma)\cdot\frac{dr^*}{d\pi}\right]-\mu\pi=0.\end{aligned} \tag{34}$$

次節では、(34) 式を用い、不法投棄に対する政府の最適摘発確率 π^* に関して、比較静学分析を行う。

3.2 比較静学分析

本節では、社会的厚生関数モデルに関する比較静学分析を行う。比較静学分析では、不法投棄に対する政府の最適摘発確率 π^* に着目し、環境被害に関連するパラメータ（不法投棄の被害費用パラメータ δ_d と、リサイクルされなかった残余廃棄物の被害費用パラメータ δ_l）のどちらかが変化したときに、政府は、不法投棄の摘発確率をどのようにコントロールするべきかについて分析する。

前節で導出された (34) 式が、均衡解 π^* を持つと仮定すると、陰関数は次のように表すことができる。

$$\pi^*=\pi^*(\delta_d,\delta_l,...). \tag{35}$$

ここで、陰関数の定理を適用すると、以下のような命題を得ることができる[26]。

命題 4. 家計による不法投棄廃棄物 1 単位あたりの環境被害費用が上昇した場合、政府は、不法投棄に対する最適摘発確率を上げるべきである。

[25] (34) 式の計算の詳細については、数学付録 3 を参照。
[26] 命題 4 および命題 5 の計算の詳細については、数学付録 3 を参照。

【証明】陰関数の定理を適用し、(26) 式を用いることにより、以下が得られる[27]。

$$\frac{\partial \pi^*}{\partial \delta_d} = -\frac{\left(\frac{\partial F_W}{\partial \delta_d}\right)}{\left(\frac{\partial F_W}{\partial \pi}\right)} = -\frac{-\left(\frac{dx^*}{d\pi} - \frac{dw^*}{d\pi}\right)}{\left(\frac{dx^*}{d\pi} - \frac{dw^*}{d\pi}\right)\phi - \mu} > 0. \tag{36}$$

(証明終)

この命題 4 の結果は、直観的にも納得できる。家計廃棄物の不法投棄によって環境への被害が高まっている場合、不法投棄の摘発確率を上げることによって、直接的に対処することが可能となる。もし政府が、摘発確率 π を上げて取り締まりを強化させると、家計は廃棄物の不法投棄量を減らそうとし、そのことが結果的に、不法投棄問題の解決へとつながるのである。

命題 5. 企業による残余廃棄物 1 単位あたりの環境被害費用が上昇した場合、政府は、不法投棄に対する最適摘発確率を下げるべきである。

【証明】 陰関数の定理を適用し、(26) 式と命題 3 の (29) 式を用いることにより、以下が得られる。

$$\frac{\partial \pi^*}{\partial \delta_l} = -\frac{\left(\frac{\partial F_W}{\partial \delta_l}\right)}{\left(\frac{\partial F_W}{\partial \pi}\right)} = -\frac{-\left(\frac{dw^*}{d\pi} - \frac{dr^*}{d\pi}\right)}{\left(\frac{dx^*}{d\pi} - \frac{dw^*}{d\pi}\right)\phi - \mu} = \frac{\frac{d(w^*-r^*)}{d\pi}}{\left(\frac{dx^*}{d\pi} - \frac{dw^*}{d\pi}\right)\phi - \mu} < 0. \tag{37}$$

(証明終)

不法投棄の摘発確率 π を下げて取り締まりが緩和されると、家計による不法投棄量が増える半面、合法処理量 w は減少する。一方、取り締まりが緩和されると、リサイクル量 r は増加する(命題 1)ため、$w-r$ で表される残余廃棄物量は減少する(命題 3)ことになる。ここで、残余廃棄物 1 単位あたりの環境被害費用 δ_l が、何らかの原因によって上昇した場合を考えてみる。このとき、政府は、不法投棄の摘発確率 π を下げることが必要となる。もし政府が、摘発確率 π を下げて取り締まりを緩和させると、企業による残余廃棄物量が減少することになり、そのことが結果的に、残余廃棄物による埋立地問題などを解決することができるのである。

[27] 命題 4 では、δ_d 以外のすべての外生変数を固定しているので、d の代わりに ∂ を用い、$\frac{\partial \pi^*}{\partial \delta_d}$ のように表記している。命題 5 においても、同じような表記方法を適用している。

3.3　まとめと考察

第3章のまとめと考察は、以下のようになる。

本章では、第2章で提示したモデルをもとに社会的厚生関数を設定し、社会的厚生分析を行った。その際、政府がコントロールできる変数を、不法投棄の摘発確率のみと仮定し、環境被害費用が変化したときに、政府がとるべき最適政策について考えた。その結果、この不法投棄の最適摘発確率を上げるべきか下げるべきかは、現時点で深刻化している問題は何であるかによって決まってくることが判明した。家計の不法投棄に関連する費用パラメータ δ_d が上昇した場合、すなわち、不法投棄問題が深刻化した場合には、政府は、不法投棄の最適摘発確率を引き上げ、取り締まりをより強化すべきである（命題4の (36) 式）ことが示された。それに対し、企業の残余廃棄物に関連する費用パラメータ δ_l が上昇した場合、すなわち、残余廃棄物の埋立処理問題などが深刻化した場合には、政府は最適摘発確率を引き下げ、取り締まりをより緩和すべきである（命題5の (37) 式）ことが提示された。

家計によってもたらされる不法投棄廃棄物である $(x_D - w)$ は、企業のもとに運ばれてリサイクルされることはなく、不法投棄という環境問題を引き起こす。残余廃棄物である $(w - r)$ もまた、家計の合法処理廃棄物として企業のもとに運ばれてきたにもかかわらず、結局はリサイクル資源として生まれ変わることもなく、残余廃棄物として埋立処理される。家計の不法投棄廃棄物 $(x_D - w)$ も、企業の残余廃棄物 $(w - r)$ もどちらも、何らかの環境問題（環境被害）へとつながる点では共通している。しかし、この2つの問題に対する政府の対応策（ここでは、摘発確率の操作による不法投棄の取り締まり政策）を考えた場合、政府は逆の政策を選ばなければならないことになる。つまり、不法投棄問題に対しては、摘発確率を上げることによって対処すべきである一方、残余廃棄物の埋立処理問題には、摘発確率を下げることで対処すべきなのである。このように、深刻化する環境問題のタイプに応じて、政府は使用すべき政策を変更する必要がある、と提言することができる。

4　3市場3経済主体モデル

4.1　問題の所在

「容器包装リサイクル法（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)」は、家庭から出るごみの約6割（容積比）を占める容器包装廃棄物のリサイクル制度を構築することにより、一般廃棄物の減量と、再生資源の十分な利用等を通じて資源の有効活用の確保を図る目的で、1995年に制定され、1997年4月から本格施行された法律である。

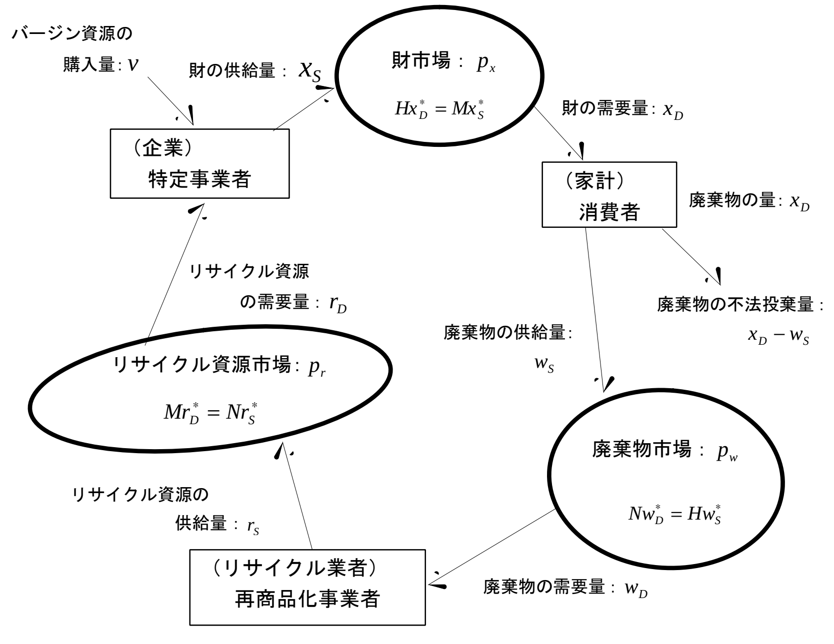
まずは、「容器包装リサイクル法」における関係各主体の具体的な役割分担について見ていく（【図3】を参照)。本章のモデルで考える関係主体は、分別排出を行う消費者（家計)、リサイクルを行う再商品化事業者（リサイクル業者)、容器製造メーカーなどの特定事業者（企業）である[28]。まず、1つめの主体である消費者は、容器包装廃棄物の排出を抑制し、住んでいる地域のルールに沿って分別排出を行う。2つめの再商品化事業者は、分別基準適合物を運搬・再生加工し、新たな資源へと生まれ変わらせる役割を果たしている。3つめの特定事業者には、事業において利用または製造・輸入した容器包装の量の「排出の抑制」を行うと共に、その量に応じてリサイクルの義務を負う食品製造メーカーや容器包装の製造メーカーなどが含まれる。本章の「3市場3経済主体モデル」では、容器包装を分別排出する消費者を「家計」、再商品化事業者を「リサイクル業者」、特定事業者を「企業」と考え、モデルを設定し分析を行う。

「容器包装リサイクル法」の成果としては、循環型社会構築に寄与したこと、市民のリサイクル意識が向上したことが挙げられる。事業者による容器の軽量化やリサイクルしやすい設計・素材選択が進展したことも、成果の1つである。また、埋立地問題の観点からは、最終処分量が年々減少し、一般廃棄物の最終処分場の残余年数が改善された。具体的には、法が制定された1995年には8.5年であった残余年数が、2011年には19.4年に改善された。さらに、ごみのリサイクル率についても、1995年の9.8% から、2011年の20.4% まで上昇した。

以上のような成果が見られる一方で、「容器包装リサイクル法」には課題も残されている。1つめの課題としては、容器包装廃棄物の発生抑制・排出抑制等が不十分であるこ

[28]容器包装の収集・分別・洗浄などを行い、法律に定められた「分別基準」に適合させ、適切な保管施設に保管しているのは、市町村の役割である。現実的には、市町村による分別収集コストが増大しているという問題も生じているが、本モデルでは、「完全競争市場」（民営化している状況）を仮定し、市町村も含めた分析については、今後の課題とする。

【図 3】廃棄物とリサイクルの概念図（第 4 章：容器包装リサイクル法）



とが挙げられる。リデュース・リユース・リサイクルという 3R への対応を、今後も考えていく必要がある。また、環境意識は高まっているが、分別排出の徹底、排出抑制への取り組みなど市民一人ひとりの具体的な行動につながっていないことも指摘されている。したがって、市民の環境意識のより一層の向上に取り組むことも、2 つめの課題として考えられる。3 つめとしては、最終処分場の新規立地が困難な中で、最終処分場制約への対応が引き続き必要であるという点が挙げられる。こういった 3R や最終処分場制約といった問題に対しては、より多くのリサイクルを実施することで、解消可能であると考えられる。そのためにも、新しいバージン資源の購入量を減らし、リサイクル資源の使用量を多くすることが、対策の 1 つと考えられる。したがって、第 4 章のモデルでは、バージン資源購入量の減少と、リサイクル資源需要量の増加という 2 つを政策目標として掲げ、比較静学分析を行う。

また、「家電リサイクル法」を念頭に置いていた第 2 章および第 3 章のモデルでは、廃家電の不法投棄の問題に着目し、不法投棄の取り締まりに対する政策を検討した。具体的には、不法投棄の摘発確率を上昇させることにより、取り締まりは強化されることになった。家電製品は大型のものであるため、不法投棄も比較的発覚されやすい。したがって、

不法投棄に対する政策を行うのは現実的でもあり、理にかなっている。一方、第4章のモデルの背景にある「容器包装リサイクル法」において、リサイクルの対象となる商品に関しては、課税や補助金政策のほうが現実的であると考えられる。なぜならば、リサイクル対象商品をポイ捨て（不法投棄）した場合、その1つ1つを摘発することは非現実的であるからである。例えば、ペットボトルやビンや缶がポイ捨てされていた場合、その1つ1つを取り締まり、罰金を科すことは現実には行われていない。むしろ、対象商品を購入した際に課税されるが、適切に処理あるいは返却された場合に補助金を受け取ることができる、といった政策のほうが現実的である。この課税を預かり金（デポジット）、補助金を払戻し金（リファンド）と考えると、これはまさにデポジット・リファンド制度と言うことができる。現実にも、デポジット・リファンド制度を導入しているケースも多く、本章でもこれに近い概念を用いる[29]。以上のように、家計に対する政策としては、課税と補助金の2つを考える。本章における課税政策とは、「容器包装リサイクル法」の対象となるような商品を購入する場合、購入時に税が課されるというものである。また、補助金政策とは、購入時に課税された商品を「合法的に」処理した場合、すなわち、リサイクル資源として分別して適切に廃棄あるいは返却した場合、家計には払戻し金としての補助金が与えられるというものである。購入時の課税（デポジット）や、リサイクル時の補助金（リファンド）を扱った分析としては、Palmer and Walls (1997) や Palmer et al. (1997) などがある。

次節以降の本章の構成は、以下のとおりである。次の第2節では、家計、リサイクル業者、企業という3つの経済主体、そして、それらの主体をつなぐ財市場、廃棄物市場、リサイクル資源市場という3つの市場が存在する「3市場3経済主体モデル」の枠組みを示す。続く第3節では、上述した家計に対する政策手段（財購入時の課税、あるいは合法処理時の補助金）が、企業にとっての当面の政策目標（バージン資源購入量の減少、あるいはリサイクル資源需要量の増加）に対してどのような影響を及ぼすかについて、個別に検証する。そして第4節では、本章のまとめと考察を行う。

[29]デポジット・リファンド制度とは、容器を購入した際に料金を課し（デポジット）、適切に返却されればそれを払い戻す（リファンド）という制度である。本来、デポジット・リファンド制度においては、商品購入時の課税（デポジット）と、返却時の払戻し金（リファンド）には大きな関連性がある。つまり、預かり金としてのデポジット、そのデポジットに対する払戻し金としてのリファンドと考え、分析を行う必要がある。しかし、本章では、購入時に支払う預かり金を課税とし、返却時に受け取る払戻し金を補助金とし、個別に比較静学分析を行う。

4.2 モデル

本節では、家計、リサイクル業者、企業という 3 つの経済主体それぞれの最適化行動、および市場の均衡を考え、「3 市場 3 経済主体モデル」の構造を示す。

4.2.1 モデルの枠組み

本章のモデルでは、家計、リサイクル業者、企業という 3 つの経済主体を考える。それぞれの数は、家計が H（同質）、リサイクル業者が N（同質）、企業が M（同質）とし、完全競争的であるとする。また、家計と企業をつなぐ財市場、家計とリサイクル業者をつなぐ廃棄物市場、リサイクル業者と企業をつなぐリサイクル資源市場という 3 つの市場を考える。そして、完全競争を仮定することにより、財市場では財の価格 p_x が、廃棄物市場では廃棄物の価格 p_w が、リサイクル資源市場ではリサイクル資源の価格 p_r が決定されるものとする。ただし、本章でも、「閉鎖経済モデル」を仮定し、輸出の可能性は考慮しないものとする。

家計は、財市場から財を需要し、廃棄物市場へ廃棄物を供給する。廃棄物処理に関する家計の選択肢は 2 つあり、合法処理するか、あるいは不法投棄するかである。合法処理された廃棄物は廃棄物市場に運ばれ、リサイクル業者によって需要され、リサイクル資源に生まれ変わる一方、不法投棄された廃棄物は、いわゆる「ごみ」となって散乱し、環境被害の原因となる。家計は、廃棄物処理にかかわる費用なども考慮に入れた所得制約のもとで、財の需要量と廃棄物の供給量に関して効用が最大となるように行動するものとする。リサイクル業者は、廃棄物市場から廃棄物を需要し、その廃棄物を用いてリサイクル資源を生み出す。そして、生み出されたリサイクル資源は、リサイクル資源市場へと供給される。リサイクル業者は、廃棄物をリサイクル工場まで運ぶための運搬費用や、リサイクル資源を生産して企業へ売ることによる収入などを考慮した利潤が最大となるように行動する。企業は、リサイクル資源市場からリサイクル資源を需要し、財市場へと財を供給する。財を生産する際に企業が利用できる資源は、バージン資源とリサイクル資源の 2 つであるとする。後者のリサイクル資源は、リサイクル業者によってリサイクル資源市場に供給された資源を購入して利用することになる。企業は、財の生産による収入、バージン資源およびリサイクル資源の購入費用などを考慮した利潤を考え、それが最大となるように行動する。

4.2.2 家計の行動

第 2 章のモデルにおける仮定と同様に、家計は、廃棄物を生じさせる財を、1 単位あたり p_x の価格で x_D 単位需要し、その結果発生する廃棄物も x_D 単位であるとする。また、家計は、合法処理か不法投棄かという 2 つの選択肢を持ち、合法処理されて廃棄物市場へ供給される量は w_S、残りの $x_D - w_S$ は不法投棄される量とする。新たに導入するパラメータは、財購入への課税 $\mathbf{t^x}$ と合法処理への補助金 $\mathbf{s^H}$ である。家計は、財 x_D の購入 1 単位あたりに対し、$\mathbf{t^x}$ の税が課されるものとする。また、合法処理に対しては、1 単位あたり $\mathbf{s^H}$ の補助金が支給されるものとする。この 2 つのパラメータは、次節で比較静学分析を行う際に、家計に対する政策変数となる。また、新たに廃棄物市場を導入したことにより、廃棄物価格についても考慮することになる。本章のモデルでは、その価格を、廃棄物 1 単位あたり p_w とし、この廃棄物価格は廃棄物市場によって決定されるものとする[30]。さらに、計算および表記上の簡略化のために、合法処理にかかわる費用としては、運搬費用などの物理的費用 $\frac{\beta}{2}(w_S)^2$ のみを考え、不法投棄にかかわる料金・費用としては、不法投棄 1 単位あたりの期待罰金額 $\pi^{\mathbf{H}}$（第 2 章と第 3 章では $\pi\phi$ と表記）のみを考える。

以上を踏まえ、家計の効用最大化問題を書き換えると、以下のように表すことができる。家計は、上述の廃棄物処理に関連する費用なども考慮に入れた所得制約条件のもとで、効用を最大化するものと考える[31]。

$$\underset{x_D,\ z}{Max}\ U(x_D, z) = \theta x_D - \frac{1}{2}(x_D)^2 + z. \tag{38}$$

$$s.t. \qquad I + \left(p_w + \mathbf{s^H}\right) w_S = (p_x + \mathbf{t^x})\, x_D + z + \frac{\beta}{2}(w_S)^2 + \pi^{\mathbf{H}}(x_D - w_S). \tag{39}$$

(38) 式で表される準線形型の効用関数は第 2 章と同じであり、制約条件を表す (39) 式の左辺は、家計の所得 I と、廃棄物をリサイクル業者に引き渡すことによって得られる収入あるいは費用 $\left(p_w + \mathbf{s^H}\right) w_S$ の合計である。一方、右辺の第 1 項は、廃棄物を生じさせる財 x_D に対する支払い額 $(p_x + \mathbf{t^x})\, x_D$、第 2 項の z は、廃棄物を生じさせない財 z（価格は 1 に基準化）に対する支払い額 z である。そして、第 3 項の $\frac{\beta}{2}(w_S)^2$ は合法処理にか

[30] 廃棄物は「バッズ (bads)」なので、価格 p_w が負であると考えたほうが、より現実的となるかも知れない。したがって、例えば、補助金 $\mathbf{s^H}$ の上昇は、廃棄物の回収費用の減少と解釈することも可能である。

[31] 第 2 章のモデルでは、家計の廃棄物処理費用の最小化問題を解いたのち、家計の効用最大化問題を考えるというように、「2 段階」的解法を利用したが、本章のモデルでは、同時に（「1 段階」に）解いている。詳細は数学付録 1 も参照。

かわる費用であり、第 4 項の $\pi^{\mathbf{H}}(x_D - w_S)$ は不法投棄にかかわる費用を表している。

以上より、(39) 式を (38) 式に代入して z を消去すると、(38) 式は (40) 式のように、財の需要量 x_D と廃棄物の供給量 w_S の関数となる。

$$\underset{x_D, w_S}{Max}\, U(x_D, w_S) = \theta x_D - \frac{1}{2}(x_D)^2 + \left[I + \left(p_w + \mathbf{s}^{\mathbf{H}}\right) w_S - (p_x + \mathbf{t}^{\mathbf{x}}) x_D - \frac{\beta}{2}(w_S)^2 - \pi^{\mathbf{H}}(x_D - w_S) \right]. \tag{40}$$

(40) 式に関して 1 階の条件を求めると、(41)(42) 式のように表すことができる[32]。

$$\frac{\partial U}{\partial x_D} = \theta - x_D - (p_x + \mathbf{t}^{\mathbf{x}}) - \pi^{\mathbf{H}} = 0, \tag{41}$$

$$\frac{\partial U}{\partial w_S} = \left(p_w + \mathbf{s}^{\mathbf{H}}\right) - \beta w_S + \pi^{\mathbf{H}} = 0. \tag{42}$$

(41)(42) 式を、財の需要量 x_D と廃棄物の供給量 w_S について解くと、均衡における財の需要量 x_D^*、均衡における廃棄物の供給量 w_S^* は、それぞれ以下のようになる。

$$x_D^* = \theta - p_x - \mathbf{t}^{\mathbf{x}} - \pi^{\mathbf{H}}, \tag{43}$$

$$w_S^* = \frac{p_w + \mathbf{s}^{\mathbf{H}} + \pi^{\mathbf{H}}}{\beta}. \tag{44}$$

4.2.3 リサイクル業者の行動

リサイクル業者は、家計の合法処理によって集められた廃棄物 w_D を、廃棄物市場から需要し、その廃棄物を用いてリサイクル資源 r_S を生み出し、リサイクル資源市場へと供給する。リサイクル資源市場へ供給されたリサイクル資源は、企業によって 1 単位あたり p_r の価格で購入され、その売り上げは、リサイクル業者の収入となる。ここで、リサイクル資源の生産関数を、以下のように表す。

$$r_S = f(w_D) = (w_D)^{\varepsilon}. \tag{45}$$

ただし、ε（ただし、$0 < \varepsilon < 1$）は、リサイクル資源の生産にかかわる生産性パラメータである。

---

[32] $\frac{\partial^2 U}{\partial (x_D)^2} = -1 < 0, \quad \frac{\partial^2 U}{\partial (w_S)^2} = -\beta < 0, \quad \begin{vmatrix} \frac{\partial^2 U}{\partial (x_D)^2} & \frac{\partial^2 U}{\partial x_D \partial w_S} \\ \frac{\partial^2 U}{\partial w_S \partial x_D} & \frac{\partial^2 U}{\partial (w_S)^2} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -\beta \end{vmatrix} = \beta > 0$ となり、極大のための 2 階の条件も満たされる。

一方、リサイクル業者は、家計の合法処理によって廃棄物市場に運ばれた廃棄物を、リサイクル資源の原料として引き取り、そのときの廃棄物 1 単位あたりの価格が p_w ということになる[33]。さらに、本モデルでは、家計から合法処理によって運ばれた廃棄物は、いったん、自治体による「指定保管施設」に保管されるとする。したがって、各リサイクル業者は、その保管施設からリサイクル工場へ運搬しなければならないが、その際の廃棄物 1 単位あたりの運搬費用を ψ（ただし、$p_w+\psi>0$）と設定する。

以上を踏まえた上で、リサイクル業者の行動を考えると、リサイクル業者の利潤は、リサイクル資源の生産による収入 $p_r\cdot\ f(w_D)$、リサイクルに使用する廃棄物の費用あるいは収入 $p_w w_D$、そして、リサイクル工場までの廃棄物の運搬費用 ψw_D で構成され、この利潤が最大となるように行動すると考えられる。したがって、リサイクル業者の利潤最大化問題は (46) 式のように表される。

$$\begin{aligned} \underset{w_D}{Max}\quad & \Pi^R\left(w_D\right)=p_r\cdot\ f(w_D)-\left(p_w w_D+\psi w_D\right), \\ s.t.\quad & r_S=f(w_D)=\left(w_D\right)^{\varepsilon}. \end{aligned} \tag{46}$$

(46) 式に関して 1 階の条件を求めると、(47) 式のように表すことができる[34]。

$$\frac{\partial\Pi^R}{\partial w_D}=\varepsilon p_r\left(w_D\right)^{\varepsilon-1}-\left(p_w+\psi\right)=0. \tag{47}$$

(47) 式より、均衡における廃棄物の需要量 w_D^* は、以下のように表すことができる。

$$w_D^*=\left(\frac{p_w+\psi}{\varepsilon p_r}\right)^{\frac{1}{\varepsilon-1}}. \tag{48}$$

また、(48) 式をリサイクル資源の生産関数 (45) 式に代入すると、均衡におけるリサイクル資源の供給量 r_S^* は、以下のように表される。

$$r_S^*=\left(w_D^*\right)^{\varepsilon}=\left(\frac{p_w+\psi}{\epsilon p_r}\right)^{\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}}. \tag{49}$$

[33] 脚注 30 でも記したように、廃棄物は「バッズ（bads）」なので、この廃棄物 1 単位あたりの価格 p_w が負であると考えると、p_w はリサイクル業者にとっての収入となる。

[34] $\frac{\partial^2\Pi^R}{\partial(w_D)^2}=\varepsilon\left(\varepsilon-1\right)p_r\left(w_D\right)^{\varepsilon-2}<0$ より、極大のための 2 階の条件も満たされる。

4.2.4 企業の行動

企業は、財市場に財を供給するが、その財の生産を行う際、バージン資源 v とリサイクル資源 r_D の両方を用いて生産を行うものとする。バージン資源については、第 2 章のモデルと同様に、本モデルでは考察の対象とはしていない「バージン資源市場」から、1 単位あたり p_v の価格で購入すると仮定する。一方、リサイクル資源は、リサイクル業者によって生み出され、リサイクル資源市場に供給される資源である。企業は、このリサイクル資源を、1 単位あたり p_r の価格で、リサイクル資源市場から購入する。なお、本章では、p_r をリサイクル資源市場で決定されるリサイクル資源価格として捉える。 また、財の生産関数は、第 2 章と同様に、コブ＝ダグラス型と仮定し、以下のように表す。

$$x_S = f\left(v, r_D\right) = v^{\tau}\left(r_D\right)^{\rho}. \tag{50}$$

ここで、 τ はバージン資源を用いて生産した場合の生産性パラメータ、 ρ はリサイクル資源を用いて生産した場合の生産性パラメータを示している（ただし、規模に関して収穫逓減であるとし、$0 < \tau < 1,\ 0 < \rho < 1,\ 0 < \tau + \rho < 1$ と仮定)。そして企業は、生産した財を財市場に供給し、1 単位あたり p_x の価格で家計に購入され、その売り上げが企業の収入となる。

以上より、企業の最適化行動は、財の生産から得られる収入 $p_x \cdot f\left(v, r_D\right)$ から、バージン資源とリサイクル資源の購入費用 $p_v v + p_r r_D$ を控除した利潤が最大となるように行動することである。したがって、企業の利潤最大化問題は (51) 式のように表される。

$$\begin{aligned} \underset{v, r_D}{Max}\ \Pi^P\left(v, r_D\right) &= p_x \cdot f\left(v, r_D\right) - \left(p_v v + p_r r_D\right), \\ s.t.\ \ x_S &= f\left(v, r_D\right) = v^{\tau}\left(r_D\right)^{\rho}. \end{aligned} \tag{51}$$

(51) 式に関して 1 階の条件を求めると、(52)(53) 式のように表すことができる[35]。

[35] $\frac{\partial^2 \Pi^P}{\partial v^2} = \tau\left(\tau - 1\right) p v^{\tau-2}\left(r_D\right)^{\rho} < 0,$
$\begin{vmatrix} \frac{\partial^2 \Pi^P}{\partial v^2} & \frac{\partial^2 \Pi^P}{\partial v \partial r_D} \\ \frac{\partial^2 \Pi^P}{\partial r_D \partial v} & \frac{\partial^2 \Pi^P}{\partial (r_D)^2} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \tau\left(\tau-1\right) p v^{\tau-2}\left(r_D\right)^{\rho} & \tau\rho p v^{\tau-1}\left(r_D\right)^{\rho-1} \\ \tau\rho p v^{\tau-1}\left(r_D\right)^{\rho-1} & \rho\left(\rho-1\right) p v^{\tau}\left(r_D\right)^{\rho-2} \end{vmatrix}$
$= \left(1 - \tau - \rho\right) \tau\rho p^2 v^{2(\tau-1)}\left(r_D\right)^{2(\rho-1)} > 0 \quad (\because 0 < \tau < 1,\ 0 < \rho < 1,\ 0 < \tau + \rho < 1.)$ より、
極大のための 2 階の条件も満たされる。

$$\frac{\partial \Pi^P}{\partial v} = \tau p_x v^{\tau-1} (r_D)^{\rho} - p_v = 0, \tag{52}$$

$$\frac{\partial \Pi^P}{\partial r_D} = \rho p_x v^{\tau} (r_D)^{\rho-1} - p_r = 0. \tag{53}$$

(52)(53) 式をバージン資源の購入量 v について解き、均衡におけるリサイクル資源の需要量 r_D^* を求めると、以下のように表すことができる[36]。

$$v = \left(\frac{\tau p_r}{\rho p_v}\right) r_D. \tag{54}$$

$$r_D^* = \left[\left(\frac{p_v}{\tau p_x}\right)\left(\frac{\tau p_r}{\rho p_v}\right)^{1-\tau}\right]^{\frac{1}{\tau+\rho-1}}. \tag{55}$$

(50)(52)(54)(55) 式より、均衡における財の供給量 x_S^* は、以下のように表される[37]。

$$x_S^* = (v^*)^{\tau} (r_D^*)^{\rho} = \left[\left(\frac{p_v}{\tau p_x}\right)^{\tau+\rho}\left(\frac{\tau p_r}{\rho p_v}\right)^{\rho}\right]^{\frac{1}{\tau+\rho-1}}. \tag{56}$$

さらに、(55) 式を (54) に代入すると、均衡におけるバージン資源の購入量 v^* は、以下のようになる。

$$v^* = \left(\frac{\tau p_r}{\rho p_v}\right) r_D^* = \left[\left(\frac{p_v}{\tau p_x}\right)\left(\frac{\tau p_r}{\rho p_v}\right)^{\rho}\right]^{\frac{1}{\tau+\rho-1}}. \tag{57}$$

4.2.5 市場の均衡

最後に、各市場の需給均衡式を具体的に示すことにする。本モデルでは、家計の数を H（同質)、リサイクル業者の数を N（同質)、企業の数を M（同質）とし、完全競争的な状況を仮定しているので、財市場の均衡式は $Hx_D^* = Mx_S^*$、廃棄物市場の均衡式は $Nw_D^* = Hw_S^*$、リサイクル資源市場の均衡式は $Mr_D^* = Nr_S^*$ と表すことができる。この 3 本の均衡式に、3 つの経済主体それぞれの最適化行動から求められた需給量 (43)(44)(48)(49)(55)(56) 式を代入し整理すると、以下の式が得られる[38]。

[36](55) 式は、以下のようにして求めることができる。

$r_D^* = \left[\left(\frac{p_r}{\rho p_x}\right)\left(\frac{\tau p_r}{\rho p_v}\right)^{-\tau}\right]^{\frac{1}{\tau+\rho-1}} = \left[\left(\frac{p_v}{\tau p_x}\right)\left(\frac{\tau p_r}{\rho p_v}\right)^{1-\tau}\right]^{\frac{1}{\tau+\rho-1}}. \quad \left(\because \frac{p_r}{\rho p_x} = \frac{p_v}{\tau p_x}\cdot\frac{\tau p_r}{\rho p_v}.\right)$

[37](56) 式および (57) 式の計算の詳細については、数学付録 4-1 を参照。

[38]$p_r^* = 1$ すると、(58)〜(60) 式において、均衡解の存在を証明することができる。

$$F^1\left(p_x^*, p_r^*\right) \equiv H \cdot \left[\theta - p_x^* - \mathbf{t^x} - \pi^{\mathbf{H}}\right] - M \cdot \left[\left(\frac{p_v}{\tau p_x^*}\right)^{\tau+\rho}\left(\frac{\tau p_r^*}{\rho p_v}\right)^{\rho}\right]^{\frac{1}{\tau+\rho-1}} = 0, \quad (58)$$

$$F^2\left(p_w^*, p_r^*\right) \equiv N \cdot \left(\frac{p_w^* + \psi}{\varepsilon p_r^*}\right)^{\frac{1}{\varepsilon-1}} - H \cdot \left(\frac{p_w^* + \mathbf{s^H} + \pi^{\mathbf{H}}}{\beta}\right) = 0, \quad (59)$$

$$F^3\left(p_x^*, p_w^*, p_r^*\right) \equiv M \cdot \left[\left(\frac{p_v}{\tau p_x^*}\right)\left(\frac{\tau p_r^*}{\rho p_v}\right)^{1-\tau}\right]^{\frac{1}{\tau+\rho-1}} - N \cdot \left(\frac{p_w^* + \psi}{\varepsilon p_r^*}\right)^{\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}} = 0. \quad (60)$$

4.3 比較静学分析

本節では、前節で求めた (58)〜(60) 式を用いて、家計に対する政府政策について、比較静学分析を行う。

各市場の均衡式 (58)〜(60) より、比較静学方程式は、以下のように表すことができる。

$$J\begin{bmatrix} dp_x^* \\ dp_w^* \\ dp_r^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{\partial F^1}{\partial \mathbf{t^x}} & -\frac{\partial F^1}{\partial \mathbf{s^H}} & \cdots \\ -\frac{\partial F^2}{\partial \mathbf{t^x}} & -\frac{\partial F^2}{\partial \mathbf{s^H}} & \cdots \\ -\frac{\partial F^3}{\partial \mathbf{t^x}} & -\frac{\partial F^3}{\partial \mathbf{s^H}} & \cdots \end{bmatrix}\begin{bmatrix} d\mathbf{t^x} \\ d\mathbf{s^H} \\ \vdots \end{bmatrix}. \quad (61)$$

ここで、ヤコビアン J は次のようになる[39]。

$$\begin{aligned} J &= \begin{vmatrix} \frac{\partial F^1}{\partial p_x^*} & \frac{\partial F^1}{\partial p_w^*} & \frac{\partial F^1}{\partial p_r^*} \\ \frac{\partial F^2}{\partial p_x^*} & \frac{\partial F^2}{\partial p_w^*} & \frac{\partial F^2}{\partial p_r^*} \\ \frac{\partial F^3}{\partial p_x^*} & \frac{\partial F^3}{\partial p_w^*} & \frac{\partial F^3}{\partial p_r^*} \end{vmatrix} \\ &= \begin{vmatrix} H\frac{\partial x_D^*}{\partial p_x^*} - M\frac{\partial x_S^*}{\partial p_x^*}_{\ominus} & 0 & -M\frac{\partial x_S^*}{\partial p_r^*}_{\oplus} \\ 0 & N\frac{\partial w_D^*}{\partial p_w^*} - H\frac{\partial w_S^*}{\partial p_w^*}_{\ominus} & N\frac{\partial w_D^*}{\partial p_r^*}_{\oplus} \\ M\frac{\partial r_D^*}{\partial p_x^*}_{\oplus} & -N\frac{\partial r_S^*}{\partial p_w^*}_{\oplus} & M\frac{\partial r_D^*}{\partial p_r^*} - N\frac{\partial r_S^*}{\partial p_r^*}_{\ominus} \end{vmatrix} < 0. \end{aligned} \quad (62)$$

以下では、(61) 式で表される比較静学方程式を用い、家計に対する政府政策が、当面の政策目標に対してどのような影響を及ぼすかに注目し、比較静学分析を行う。本章で着目する政策目標は、企業によるバージン資源の購入量 v の減少（政策目標１）と、リサイクル資源の需要量 r_D の増加（政策目標 2）の 2 つである。また、この 2 つの目標を達成するために、政府が家計に対して行う政策としては、財 x_D の購入に対する課税 $\mathbf{t^x}$（政

[39] ヤコビアン J の計算の詳細については、数学付録 4-2 を参照。

策手段 1）と、家計廃棄物 w_S の合法処理に対する補助金 $\mathbf{s^H}$（政策手段 2）の 2 つを考える[40]。

まず、家計に対する政府政策の 1 つめ、財 x_D の購入に対する課税 $\mathbf{t^x}$ については、以下の命題が成立する。

命題 6. 財の購入に対する課税を引き上げた場合、バージン資源購入量とリサイクル資源の需要量が減少する。したがって、財の購入への課税という 1 つの政策だけでは、2 つの政策目標（バージン資源購入量の減少と、リサイクル資源需要量の増加）を同時に達成することは不可能である。

【証明】 (61) 式で表される比較静学方程式に、クラメールの公式を適用して解くことにより、以下の式が得られる[41]。

$$\frac{dp_x^*}{d\mathbf{t^x}} < 0,\ \frac{dp_r^*}{d\mathbf{t^x}} < 0. \tag{63}$$

また、(57) 式および (55) 式を、それぞれ、財の価格 p_x およびリサイクル資源の価格 p_r で偏微分することにより、以下の結果が得られる。

$$\frac{\partial v^*}{\partial p_x} > 0,\ \frac{\partial v^*}{\partial p_r} < 0, \tag{64}$$

$$\frac{\partial r_D^*}{\partial p_x} > 0,\ \frac{\partial r_D^*}{\partial p_r} < 0. \tag{65}$$

(63) 式と (64) 式から (66) 式を、(63) 式と (65) 式から (67) 式を、それぞれ導出することができる。

$$\frac{dv^*}{d\mathbf{t^x}} = \underset{\oplus}{\frac{\partial v^*}{\partial p_x}}\underset{\ominus}{\frac{dp_x^*}{d\mathbf{t^x}}} + \underset{\ominus}{\frac{\partial v^*}{\partial p_r}}\underset{\ominus}{\frac{dp_r^*}{d\mathbf{t^x}}} < 0, \tag{66}$$

$$\frac{dr_D^*}{d\mathbf{t^x}} = \underset{\oplus}{\frac{\partial r_D^*}{\partial p_x}}\underset{\ominus}{\frac{dp_x^*}{d\mathbf{t^x}}} + \underset{\ominus}{\frac{\partial r_D^*}{\partial p_r}}\underset{\ominus}{\frac{dp_r^*}{d\mathbf{t^x}}} < 0. \tag{67}$$

（証明終）

命題 6 では、家計に対する政府政策として、財 x_D の購入に対する課税 $\mathbf{t^x}$ を用いたケースを考えている。この課税を引き上げた場合、バージン資源購入量の減少という 1 つ

[40] 本章の第 1 節でも記したように、本研究では、家計に対する課税政策と、補助金政策を個別に検証している。

[41] 命題 6 の計算の詳細については、数学付録 4-3 を参照。

めの目標を達成することができるものの、2 つめの目標であるリサイクル資源需要量の増加を達成することはできない。リサイクル資源の需要量を増加させるためには、課税の額を軽減しなければならないのである。つまり、財の購入への課税政策だけでは、2 つの政策目標を同時に達成することはできないことになる。

また、家計に対する政府政策の 2 つめ、家計廃棄物 w_S の合法処理に対する補助金 $\mathbf{s^H}$ については、以下の命題が成立する。

命題 7. 財に関する需要の価格弾力性が非弾力的（弾力性 <1）なときに限り、家計廃棄物の合法処理に対する補助金を引き上げた場合、バージン資源購入量が減少すると同時に、リサイクル資源の需要量は増加する。したがって、財市場が非弾力的なケースでは、家計廃棄物の合法処理への補助金という 1 つの政策だけを用いたとしても、2 つの政策目標（バージン資源購入量の減少と、リサイクル資源需要量の増加）を同時に達成することが可能となる。

【証明】 (61) 式で表される比較静学方程式に、クラメールの公式を適用して解くことにより、以下の式が得られる[42]。

$$\frac{dp_x^*}{d\mathbf{s^H}} < 0,\ \frac{dp_r^*}{d\mathbf{s^H}} < 0. \tag{68}$$

ここで、(68) 式と、命題 6 でも利用した (64) 式を用いることにより、(69) 式を得ることができる。同様に、(68) 式と、命題 6 で用いた (65) 式から、(70) 式を導出することができる。

$$\frac{dv^*}{d\mathbf{s^H}} = \underset{\oplus}{\frac{\partial v^*}{\partial p_x}} \underset{\ominus}{\frac{dp_x^*}{d\mathbf{s^H}}} + \underset{\ominus}{\frac{\partial v^*}{\partial p_r}} \underset{\ominus}{\frac{dp_r^*}{d\mathbf{s^H}}} \gtreqless 0 \quad if \quad \left| \frac{\partial x_D^*/\partial p_x}{x_D^*/p_x} \right| \gtreqless 1, \tag{69}$$

$$\frac{dr_D^*}{d\mathbf{s^H}} = \underset{\oplus}{\frac{\partial r_D^*}{\partial p_x}} \underset{\ominus}{\frac{dp_x^*}{d\mathbf{s^H}}} + \underset{\ominus}{\frac{\partial r_D^*}{\partial p_r}} \underset{\ominus}{\frac{dp_r^*}{d\mathbf{s^H}}} > 0. \tag{70}$$

（証明終）

命題 7 では、家計に対する政府政策として、廃棄物 w_S の合法処理に対する補助金 $\mathbf{s^H}$ を用いたケースを考えている。この補助金を引き上げた場合、バージン資源購入量の減少という 1 つめの目標を達成できるかどうかは、財 x_D に関する需要の価格弾力性の大きさに依存して決まる。弾力性が 1 よりも大きく弾力的であるならば、バージン資源購入量は増加し、この 1 つめの目標を達成することはできない。しかし、弾力性が 1 よりも

[42] 命題 7 の計算の詳細については、数学付録 4-4 を参照。

小さく非弾力的であるならば、バージン資源購入量は減少し、目標を達成することが可能となる。一方、2 つめの目標であるリサイクル資源需要量の増加を達成できるかどうかは、弾力性の大きさとは無関係である。補助金 $\mathbf{s^H}$ を引き上げた場合には、リサイクル資源需要量は増加することになり、この 2 つめの目標は、常に達成可能ということになる。以上より、非弾力的な財市場においては（すなわち、財に関する需要の価格弾力性が小さく非弾力的である場合には)、家計廃棄物の合法処理への補助金政策を用いることにより、バージン資源購入量の減少と、リサイクル資源需要量の増加という 2 つの政策目標を、同時に達成することが可能ということになる。

これらの結果をまとめると、【表 3】のようになる。

【表 3】命題 6 および命題 7 のまとめ

<table>
<tr><td rowspan="3"></td><td rowspan="3">（家計への政策手段 1）
財 x_D の購入に対する課税 $\mathbf{t^x}$ の引き上げ</td><td colspan="2">（家計への政策手段 2）
家計廃棄物の合法処理 w_S に対する補助金 $\mathbf{s^H}$ の引き上げ</td></tr>
<tr><td colspan="2">財 x_D に関する需要の価格弾力性</td></tr>
<tr><td>弾力的
（弾力性 >1）</td><td>非弾力的
（弾力性 <1）</td></tr>
<tr><td>（政策目標 1）
バージン資源購入量 v^* の減少</td><td>○</td><td>×</td><td>○</td></tr>
<tr><td>（政策目標 2）
リサイクル資源需要量 r_D^* の増加</td><td>×</td><td colspan="2">○</td></tr>
</table>

4.4 まとめと考察

第 4 章のまとめと考察は、以下のようになる。

本章では、「閉鎖経済」のもとで、3 つの経済主体（家計、リサイクル業者、企業)、および、それらをつなぐ 3 つの市場（財市場、廃棄物市場、リサイクル資源市場）を考え、各経済主体の最適化条件、各市場の均衡式を用いて、比較静学方程式を導出した。その比較静学方程式を用い、家計に対する政府の政策が、当面の政策目標に対してどのような影響を及ぼすかについて、個別に検証した。本章のモデルでは、家計への政策として、財の購入に対する課税 $\mathbf{t^x}$ と、家計廃棄物の合法処理に対する補助金 $\mathbf{s^H}$ の 2 つに、そして政策目標としては、企業によるバージン資源購入量 v の減少と、リサイクル資源需要量 r_D の増加の 2 つに注目し、比較静学分析を行った。その分析結果をまとめると、以下

のようになる。まず、財購入への課税 $\mathbf{t^x}$ という 1 つの政策だけを用いた場合、2 つの政策目標を同時に達成することは不可能である（命題 6）ことが示された。したがって、2 つの目標のうちのどちらが、より優先的な課題であるかを見極め、課税を引き上げるべきか引き下げるべきかを決定する必要があると言える。一方、家計廃棄物の合法処理への補助金 $\mathbf{s^H}$ を政策として用いた場合には、財市場が非弾力的なケース（財に関する需要の価格弾力性が 1 より小さいケース）に限り、2 つの政策目標を同時に達成することが可能となる（命題 7）ことがわかった。以上のように、財に関する需要の価格弾力性や、政策目標の優先順位の違いに応じ、家計に対する政府政策の水準を、異なる方向へ変更していくことが重要となることが示された。

最後に、以上の分析結果を、本章の冒頭で触れた「容器包装リサイクル法」と関連づけると、以下のような考察を行うことが可能となる。一般的には、市場の定義を広くすればするほど、その市場における需要の価格弾力性も小さくなっていく、すなわち、より非弾力的になっていくと考えられる。したがって、家計に対する補助金政策を用いて、上述の 2 つの政策目標を同時に達成させるためには、リサイクルの対象とする商品数を増やし、市場を拡大させることが必要となる。なぜならば、対象商品を増やすことによって市場の定義を広くすると、需要の価格弾力性が小さくなり、市場は非弾力的になるからである。逆に、リサイクル対象品を限定してしまった場合には需要の価格弾力性は大きくなってしまうため、どちらか一方の政策目標しか達成できなくなってしまう。

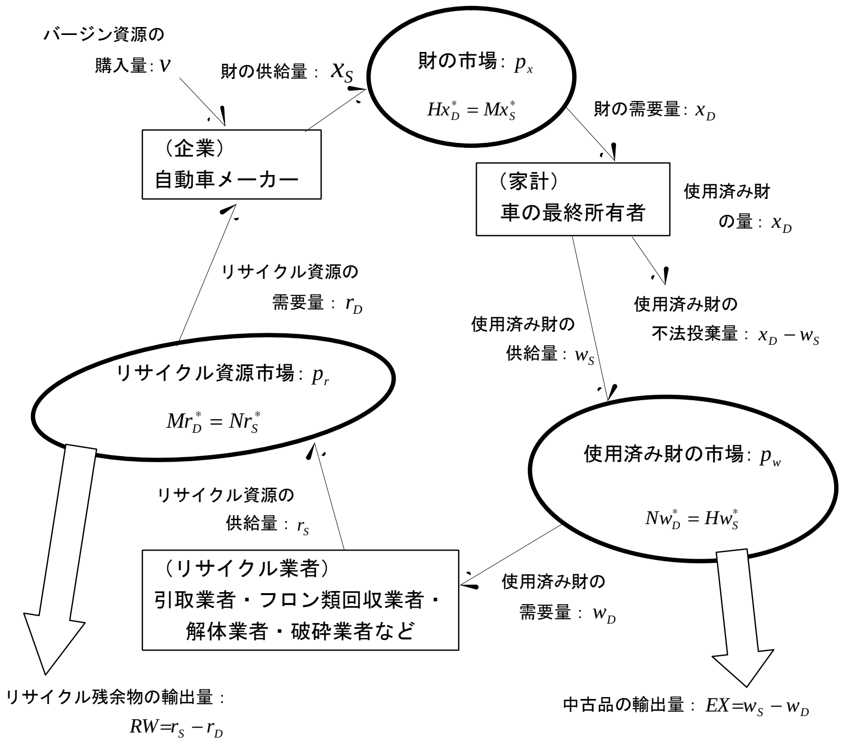
5　使用済み財への補助金 vs リサイクル資源への課税

5.1　問題の所在

「自動車リサイクル法（使用済自動車の再資源化等に関する法律）」は、ごみを減らし、資源の無駄づかいをしないリサイクル型社会を作るために、車のリサイクルについて、車の所有者、関連事業者、自動車メーカーの役割を定めた法律で、2005 年 1 月に施行されたものである。現在、日本では、年間で約 360 万台もの車が廃車になっている。車は、もともと鉄やアルミなどの有用金属から製造されているため、リサイクル率は高く、総重量の約 80% がリサイクルされ、残りの 20% がシュレッダーダスト（車の解体・破砕後に残るプラスチックくずなどの老廃物、廃車くず）として、主に埋立処分されてきた。しかし、最終処分場のスペースが不足してきたこと、これに伴って埋立処分費用が高騰してきたことなどから、廃車の不法投棄・不適正処理が心配されるようになった。また、カーエアコンの冷媒に利用されているフロン類がきちんと回収処理されないと、オゾン層破壊や地球温暖化問題を引き起こす要因になってしまうことも指摘されていた。さらに、爆発性のあるエアバッグ類を安全に処理するには、自動車解体時に専門的な技術が必要となることも問題となっていた。そこで、これらを適正に処理し問題を解決するために、2005 年から「自動車リサイクル法」がスタートした。

では、「自動車リサイクル法」の関係各主体の具体的な役割について見ていく（【図 4】を参照）。 関係主体としては、大きく分けると、車の最終所有者（家計）、引取業者、フロン類回収業者、解体業者、破砕業者などの関連事業者（リサイクル業者）、そして自動車メーカー（企業）の 3 つということになる。まず、車の最終所有者は、リサイクル料金を支払い、廃車（使用済み財）を自治体に登録された引取業者に引き渡す。次に、引取業者は、最終所有者から廃車を引き取り、フロン類回収業者または解体業者に引き渡す。そして、フロン類回収業者は、廃車からフロン類を回収して自動車メーカーに引き渡し、廃車を解体業者に引き渡す。解体業者は、廃車を基準に従って適正に解体し、エアバッグ類を回収し、自動車メーカーに引き渡す。さらに、破砕業者は、解体自動車をシュレッダーマシンで破砕したのち、金属類とシュレッダーダストを分別して、シュレッダーダストを自動車メーカーに引き渡す。3 つめの主体である自動車メーカーは、引き取った 3 品目（フロン類、エアバッグ類、シュレッダーダスト）を適正に処理する。第 5 章のモデルでは、車の最終所有者を「家計」、引取業者、フロン類回収業者、解体業者、破砕業者といった関連事業者をまとめて「リサイクル業者」、そして自動車メーカーを「企業」と

【図 4】廃棄物とリサイクルの概念図（第 5 章：自動車リサイクル法）



考え、分析を行う。

自動車リサイクル法の目的の 1 つは、「使用済み自動車（廃車）の適正処理を通じて、資源循環型の社会の構築を進めること」である。この現実に照らし合わせ、本章のモデルでも、第 4 章のモデルと同様に「循環型モデル」を仮定し、分析を行う。また、この法律では、「使用済み自動車の適正処理を通じて、環境保全に寄与すること」も目指している。もし、使用済み自動車が不適正に処理されると、不法投棄がなされ、環境汚染の原因となる。したがって、こういった不法投棄を減少させることも、目的の 1 つとなっている。実際、2009 年 3 月末のデータによると、自動車リサイクル法施行前の 2004 年 9 月には 22 万台であった不法投棄・不適正保管の車両が、2009 年 3 月には 1.5 万台となっており、9 割も激減している。

法律の制定により、自動車のリサイクル率は大幅に高まっており、廃車がリサイクルされて生まれ変わるのは喜ばしいことと言える。しかし、一方で、法律制定当初に掲げ

られていた、フロン類やエアバッグ類の適正処理、シュレッダーダストの埋立処分といった問題が、すべて解決されたわけではない。また、解体・破砕作業の際に、環境被害が生じないとも言い切れない。このように、自動車のリサイクルには、埋立処分や環境被害の問題が付きまとっている。他方、自動車の場合、リサイクルされずに、そのまま海外へ輸出される中古車（中古品）の存在がある[43]。本章では、この中古品の存在に着目して分析を行う。現在、年間約 100 万台の使用済み自動車が、中古車として輸出されていると推定されている。第 5 章では、この「中古品の輸出量の増加」を、目指すべき政策目標の 1 つと考える。逆に、フロン類、エアバッグ類、シュレッダーダスト、その他有用部品・金属といったリサイクル資源が、リサイクル後に無駄に余ってしまうことは、望ましくないことと考える[44]。したがって、リサイクル資源に関しては、「リサイクル残余量の減少」を政策目標として掲げる。また、第 5 章では、「開放経済モデル」を仮定し、中古品だけでなく、リサイクル残余物をも輸出することが可能であるとする。よって、本章では、「中古品輸出量の増加」と「リサイクル残余物の輸出量の減少」を 2 つの政策目標とする。そして、この 2 つの政策目標を達成するために、使用済み財に対する補助金、およびリサイクル資源に対する課税という 2 つの政策に着目し、比較静学分析を行う。こういった補助金・課税政策を個別に行った場合、あるいは、補助金と課税の組み合わせ政策を実施した場合、中古品の輸出量、およびリサイクル残余物の輸出量にどういった影響を及ぼすのかを検討する[45]。

次節以降の本章の構成は、以下のとおりである。次の第 2 節では、第 4 章のモデルをもとに、均衡における中古品の輸出量、および、リサイクル後に生み出されるリサイクル残余物の輸出量の定義について示す。続く第 3 節では、使用済み財への補助金やリサイクル資源への課税といった政府政策が、中古品の輸出量、およびリサイクル残余物の輸出量にどのような影響を及ぼすかについて、個別に検証する。そして第 4 節では、第 3 節で得られた結果をもとに、政策効果の比較を行う。その際、政策目標としては、中古品輸出量の増加と、リサイクル残余物の輸出量の減少の 2 つを考える。さらに第 5 節では、使用済み財への補助金とリサイクル資源への課税とを組み合わせた政策について、比較

[43]中古車の輸出を促進することにより、国内における環境汚染を軽減することが可能であると考える。

[44]解体作業の中で、再使用部品（エンジン、ボディ部品、電装品など）は 20～30% 、再資源化部品（エンジン、触媒、非鉄金属、タイヤなど）は 15% 、廃車ガラ（エンジンやタイヤなどを取り外した外枠だけの状態）は 55～65% とされている。第 5 章では、こういった有用部品や廃車ガラの残余も、リサイクル残余物と考える。

[45]補助金と課税との組み合わせ政策に関する先行研究としては、Palmer et al. (1997) などがある。また、「入門　廃棄物の経済学」 (2005) の第 10 章にも挙げられている。

検討する。そして第 6 節では、本章のまとめと考察を行う。

5.2　モデル

本節では、モデルの枠組みを示すとともに、均衡における中古品の輸出量、および、均衡におけるリサイクル残余物の輸出量をどのように定義するのかについて説明する。

5.2.1　モデルの枠組み

本章のモデルは、第 4 章の「3 市場 3 経済主体モデル」をベースとし、家計、リサイクル業者、企業という 3 つの経済主体、および、家計と企業をつなぐ財市場、家計とリサイクル業者をつなぐ廃棄物市場、リサイクル業者と企業をつなぐリサイクル資源市場という 3 つの市場を想定し、完全競争的な状況を仮定したものである。このような「3 市場 3 経済主体モデル」に「自動車リサイクル法」を適用させ、さらに具体的に解釈すると、以下のようになる。まず、車の最終所有者（家計）は、自動車を購入し、使用後は廃棄する。使用済み自動車の廃棄処理に関して、家計は、合法処理するか、あるいは不法投棄するかという 2 つの選択肢を持つ。本章のモデルにおける合法処理量 w_S は、車の最終所有者（家計）のもとから、廃車（使用済み財）の市場に適正に運び込まれた使用済み自動車の台数であり、不法投棄された使用済み自動車の台数は $x_D - w_S$ に相当する。次に、リサイクル業者は、使用済み財の市場から使用済み自動車を引き取り、フロン類の回収、解体およびエアバッグ類の回収、破砕およびシュレッダーダストの分別などを行うが、このようにしてリサイクル業者のもとへ運ばれる使用済み自動車の台数が、使用済み財の市場における需要量 w_D に対応する。その後、リサイクル業者によって回収や分別がなされたフロン類、エアバッグ類、シュレッダーダストは、リサイクル資源としてリサイクル資源市場へと供給される。その他、解体・破砕作業の途中で発生する再利用部品などの有用部品、および有用金属も、リサイクル資源とみなし、リサイクル資源市場へ運ばれると考える。このように、リサイクル業者によってリサイクル資源市場へ供給されるリサイクル資源量が、r_S ということになる。最後に、自動車メーカー（企業）は、リサイクル資源市場から資源を需要し、再び車の生産を行う。「自動車リサイクル法」により、フロン類、エアバッグ類、シュレッダーダストの特定 3 品目は、自動車メーカーに引き渡される。また、リサイクルの結果生み出されたエンジンやボディなどの再使用部品、あるいは有用金属についても、自動車メーカーがそれを再び購入することも考えられる。この特定 3 品目や有用部品・金属に相当するのが、自動車メーカーによるリサイクル資

源の需要量 r_D に相当する。自動車メーカーは、このリサイクル資源 r_D と、バージン資源に相当する新たな部品・金属などを購入して車を生産し、車の市場へと供給している。

第4章では、家計の効用最大化行動から (43) 式と (44) 式が、リサイクル業者の利潤最大化行動から (48) 式と (49) 式が、企業の利潤最大化行動から (55) 式と (56) 式が導出された。ここで、(43) 式と (56) 式は財市場における均衡量、(44) 式と (48) 式は廃棄物市場における均衡量、(49) 式と (55) 式はリサイクル資源市場における均衡量を示していた[46]。

5.2.2　中古品輸出量、およびリサイクル残余物の輸出量の定義

本章では、中古品の輸出量と、リサイクル残余物の輸出量という2つの量に着目し、比較静学分析を行う。本章のモデルでは、財の最終所有者（家計）によって適正に廃棄されたが、国内のリサイクル業者に引き渡されなかった使用済み財（中古品）は輸出可能であると考える。この中古品の輸出量を $\mathbf{EX}$ と表記し、家計によって合法的に廃棄された車の供給量 w_S から、国内のリサイクル業者による使用済み財の需要量 w_D を差し引いたものとして定義する。また、リサイクル業者によって適正にリサイクルされたが、国内の企業に引き渡されなかったリサイクル資源を、「リサイクル残余物」と解釈し、これも輸出可能であると考える[47]。このリサイクル残余物の輸出量を $\mathbf{RW}$ と表記し、リサイクル業者によってリサイクルされたリサイクル資源の供給量 r_S から、国内の企業によるリサイクル資源の需要量 r_D を差し引いたものとして定義する。したがって、均衡における中古品輸出量 $\mathbf{EX}^*$ とリサイクル残余物の輸出量 $\mathbf{RW}^*$ は、それぞれ以下のようになる。

---

[46] 第4章第2節で導出された均衡量に関する6本の式は、以下のとおりである。

$$x_D^* = \theta - p_x - \mathbf{t^x} - \pi^{\mathbf{H}}, \quad x_S^* = \left[\left(\frac{p_v}{\tau p_x}\right)^{\tau+\rho}\left(\frac{\tau p_r}{\rho p_v}\right)^{\rho}\right]^{\frac{1}{\tau+\rho-1}},$$

$$w_D^* = \left(\frac{p_w+\psi}{\varepsilon p_r}\right)^{\frac{1}{\varepsilon-1}}, \quad w_S^* = \frac{p_w+\mathbf{s^H}+\pi^{\mathbf{H}}}{\beta},$$

$$r_D^* = \left[\left(\frac{p_v}{\tau p_x}\right)\left(\frac{\tau p_r}{\rho p_v}\right)^{1-\tau}\right]^{\frac{1}{\tau+\rho-1}}, \quad r_S^* = \left(\frac{p_w+\psi}{\varepsilon p_r}\right)^{\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}}.$$

[47] 例えば、「自動車リサイクル法」のもとでは、フロン類、エアバッグ類、シュレッダーダストの3品目については、自動車メーカー（企業）に引き取り義務がある。しかし、解体作業後、あるいは破砕作業後に発生するリサイクル残余物のすべてが、国内の自動車メーカーによって引き取られることはないと考えられる。

$$\mathbf{EX}^* = w_S^* - \ w_D^* = \frac{p_w + \mathbf{s^H} + \pi^{\mathbf{H}}}{\beta} - \left(\frac{p_w + \psi}{\varepsilon p_r}\right)^{\frac{1}{\varepsilon-1}}. \tag{71}$$

$$\mathbf{RW}^* = r_S^* - \ r_D^* = \left(\frac{p_w + \psi}{\varepsilon p_r}\right)^{\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}} - \left[\left(\frac{p_v}{\tau p_x}\right)\left(\frac{\tau p_r}{\rho p_v}\right)^{1-\tau}\right]^{\frac{1}{\tau+\rho-1}}. \tag{72}$$

ここで、使用済み財に対する補助金 $\mathbf{s^d}$ と、リサイクル資源に対する課税 $\mathbf{t^r}$ という 2 つの政策手段を考え、使用済み財の市場価格を p_w^d、リサイクル資源の市場価格を p_r^r とすると、それぞれ、以下のように表すことができる。

$$p_w^d = p_w - \mathbf{s^d}. \ \Rightarrow \therefore p_w = p_w^d + \mathbf{s^d}. \tag{73}$$

$$p_r^r = p_r + \mathbf{t^r}. \ \Rightarrow \therefore p_r = p_r^r - \mathbf{t^r}. \tag{74}$$

(73)(74) 式を、(71) 式および (72) 式に適用すると、以下のように書き換えることができる。

$$\mathbf{EX}^* = w_S^* - \ w_D^* = \frac{\left(p_w^d + \mathbf{s^d}\right) + \mathbf{s^H} + \pi^{\mathbf{H}}}{\beta} - \left(\frac{\left(p_w^d + \mathbf{s^d}\right) + \psi}{\varepsilon\left(p_r^r - \mathbf{t^r}\right)}\right)^{\frac{1}{\varepsilon-1}}. \tag{75}$$

$$\mathbf{RW}^* = r_S^* - \ r_D^* = \left(\frac{\left(p_w^d + \mathbf{s^d}\right) + \psi}{\varepsilon\left(p_r^r - \mathbf{t^r}\right)}\right)^{\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}} - \left[\left(\frac{p_v}{\tau p_x}\right)\left(\frac{\tau\left(p_r^r - \mathbf{t^r}\right)}{\rho p_v}\right)^{1-\tau}\right]^{\frac{1}{\tau+\rho-1}}. \tag{76}$$

次節では、(75)(76) 式を用い、比較静学分析を行う。

5.3 比較静学分析

本節では、前節で求めた (75)(76) 式を用い、使用済み財への補助金やリサイクル資源への課税の変化が、均衡における中古品輸出量やリサイクル残余物の輸出量にどういった影響を及ぼすかについて、比較静学分析を行う。

5.3.1 均衡における中古品輸出量 EX* についての比較静学分析

まず、使用済み財への補助金 $\mathbf{s^d}$ あるいはリサイクル資源への課税 $\mathbf{t^r}$ が変化したとき、均衡における中古品輸出量がどのように変化するかについて考える。

(75) 式より、以下の式が求められる[48]。

[48](77) 式および (78) 式の計算の詳細については、数学付録 5-1 を参照。

$$\frac{\partial \mathbf{EX}^*}{\partial \mathbf{s^d}} = \left(\frac{1}{\beta}\right) \quad - \quad \left(\frac{1}{\varepsilon-1}\right) \cdot \frac{w_D^*}{(p_w^d + \mathbf{s^d}) + \psi} > 0, \tag{77}$$

$$\frac{\partial \mathbf{EX}^*}{\partial \mathbf{t^r}} = -\left(\frac{1}{\varepsilon-1}\right) \cdot \frac{w_D^*}{(p_r^r - \mathbf{t^r})} > 0. \tag{78}$$

(77)(78) 式より、使用済み財への補助金が引き上げられた場合も、リサイクル資源への課税が引き上げられた場合も、均衡における中古品輸出量は増加することが示される。使用済み財への補助金が引き上げられるということは、使用済み自動車を廃棄する際の費用負担が軽くなるということである。したがって、「使用済み財への補助金の引き上げが、中古品輸出の増加をもたらす」という (77) 式の結果は、直感的にも納得できる。一方、「リサイクル資源への課税の引き上げが、中古品輸出の増加をもたらす」という (78) 式の結果は、間接的な政策から得られるものである。リサイクル資源への課税が引き上げられるということは、リサイクル資源を生み出すことを困難にさせることにつながる。したがって、リサイクル業者としては、リサイクル資源の供給量を減らしたいと思い、その原料である使用済み財の需要量も減らそうとする。(75) 式より、中古品の輸出量は、使用済み財の供給量から需要量を差し引いたものとして定義しているので、輸出される中古品の量は増加することになる。以上のように、使用済み財への補助金の引き上げ、リサイクル資源への課税の引き上げは、どちらの政策も、中古品輸出量を増加させることになる。ただし、その増え方（増加度合い）には違いがあり、その比較については、次節で検討する。

5.3.2 均衡におけるリサイクル残余物の輸出量 RW^* についての比較静学分析

次に、使用済み財への補助金 $\mathbf{s^d}$ あるいはリサイクル資源への課税 $\mathbf{t^r}$ が変化したとき、均衡におけるリサイクル残余物の輸出量がどのように変化するかについて考える。

(76) 式より、以下の式が求められる[49]。

$$\frac{\partial \mathbf{RW}^*}{\partial \mathbf{s^d}} = \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}\right) \cdot \frac{r_S^*}{(p_w^d + \mathbf{s^d}) + \psi} < 0, \tag{79}$$

$$\frac{\partial \mathbf{RW}^*}{\partial \mathbf{t^r}} = \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}\right) \cdot \frac{r_S^*}{(p_r^r - \mathbf{t^r})} + \left(\frac{1-\tau}{\tau+\rho-1}\right) \cdot \frac{r_D^*}{(p_r^r - \mathbf{t^r})} < 0. \tag{80}$$

[49] (79) 式および (80) 式の計算の詳細については、数学付録 5-1 を参照。

(79)(80) 式より、使用済み財への補助金が引き上げられた場合も、リサイクル資源への課税が引き上げられた場合も、均衡におけるリサイクル残余物の輸出量は減少することが示される。ここでは先に、(80) 式から解釈していく。リサイクル資源への課税が引き上げられるということは、リサイクルが困難になることを意味し、リサイクル量が減ると考えられる。したがって、「リサイクル資源への課税の引き上げが、リサイクル残余物の輸出量の減少をもたらす」という (80) 式の結果は、直感的にも納得できる。一方、「使用済み財への補助金の引き上げが、リサイクル残余物の輸出量の減少をもたらす」という (79) 式の結果は、間接的な政策から得られるものである。使用済み財への補助金が引き上げられると、家計にとっては「得」となり、使用済み財の供給量は増加するが、リサイクル業者にとっては「損」となり、使用済み財の需要量は減少すると考えられる。その結果、使用済み財から生み出されるリサイクル資源の生産も減少するため、リサイクル資源の供給量は減少する。(76) 式より、リサイクル残余物の輸出量を、リサイクル資源の供給量からリサイクル資源の需要量を差し引いたものとして定義しているので、リサイクル資源の供給量の減少は、リサイクル残余物の輸出量の減少へとつながることになる。以上のように、使用済み財への補助金の引き上げ、リサイクル資源への課税の引き上げは、どちらの政策も、リサイクル残余物の輸出量を減少させることになる。ただし、この場合も、その減り方（減少度合い）には違いがあり、その比較については、次節で検討する。

5.4 政策効果の比較

本節では、2 つの政策目標、2 つの政策手段を考え、効果の比較を行う。2 つの政策目標とは、均衡における中古品輸出量 $\mathbf{EX}^*$ の増加（政策目標 1）と、均衡におけるリサイクル残余物の輸出量 $\mathbf{RW}^*$ の減少（政策目標 2）であり、2 つの政策手段とは、使用済み財への補助金 $\mathbf{s^d}$ の引き上げ（政策手段 1）と、リサイクル資源への課税 $\mathbf{t^r}$ の引き上げ（政策手段 2）である。また、以下では、リサイクル業者による使用済み財の購入費用 $\left(p_w^d + \mathbf{s^d}\right)$ と運搬費用 ψ とを足し合わせたもの、すなわち $\left(p_w^d + \mathbf{s^d}\right) + \psi$ を K^w、企業によるリサイクル資源の購入費用 $(p_r^r - \mathbf{t^r})$ を K^r とおく。

5.4.1 均衡における中古品輸出量 EX* の増加（目標 1）の比較

まず、均衡における中古品輸出量 $\mathbf{EX}^*$ の増加（政策目標 1）について、使用済み財への補助金 $\mathbf{s^d}$ の引き上げ（政策手段 1）による効果と、リサイクル資源への課税 $\mathbf{t^r}$ の引き

上げ（政策手段 2）による効果との比較を行うと、以下のようになる[50]。

$$\left|\frac{\partial \mathbf{EX}^*}{\partial \mathbf{s^d}}_{\oplus}\right| - \left|\frac{\partial \mathbf{EX}^*}{\partial \mathbf{t^r}}_{\oplus}\right| = \left(\frac{1}{\beta}\right) + \left(\frac{1}{\varepsilon - 1}\right) \cdot \frac{w_D^*}{K^w K^r}\left(K^w - K^r\right).$$
$$\therefore \left|\frac{\partial \mathbf{EX}^*}{\partial \mathbf{s^d}}\right| > \left|\frac{\partial \mathbf{EX}^*}{\partial \mathbf{t^r}}\right| \quad if \quad K^w \leq K^r. \tag{81}$$

ただし、$K^w = \left(p_w^d + \mathbf{s^d}\right) + \psi,\ K^r = p_r^r - \mathbf{t^r}$ である。

(81) 式より、リサイクル業者による使用済み財の購入費用＋運搬費用 K^w が、企業によるリサイクル資源の購入費用 K^r 以下であるならば、常に、使用済み財への補助金 $\mathbf{s^d}$ の引き上げ（政策手段 1）による効果のほうが大きくなることが言える。

5.4.2 均衡におけるリサイクル残余物の輸出量 RW^* の減少（目標 2）の比較

次に、均衡におけるリサイクル残余物の輸出量 $\mathbf{RW}^*$ の減少（政策目標 2）について、使用済み財への補助金 $\mathbf{s^d}$ の引き上げ（政策手段 1）による効果と、リサイクル資源への課税 $\mathbf{t^r}$ の引き上げ（政策手段 2）による効果との比較を行うと、以下のようになる[51]。

$$\left|\frac{\partial \mathbf{RW}^*}{\partial \mathbf{s^d}}_{\ominus}\right| - \left|\frac{\partial \mathbf{RW}^*}{\partial \mathbf{t^r}}_{\ominus}\right| = \left(\frac{1-\tau}{\tau+\rho-1}\right) \cdot \frac{r_D^*}{K^r} + \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1}\right) \cdot \frac{r_S^*}{K^w K^r}\left(K^w - K^r\right).$$
$$\therefore \left|\frac{\partial \mathbf{RW}^*}{\partial \mathbf{s^d}}\right| < \left|\frac{\partial \mathbf{RW}^*}{\partial \mathbf{t^r}}\right| \quad if \quad K^w \geq K^r. \tag{82}$$

ただし、$K^w = \left(p_w^d + \mathbf{s^d}\right) + \psi,\ K^r = p_r^r - \mathbf{t^r}$ である。

(82) 式より、リサイクル業者による使用済み財の購入費用＋運搬費用 K^w が、企業によるリサイクル資源の購入費用 K^r 以上であるならば、常に、リサイクル資源への課税 $\mathbf{t^r}$ の引き上げ（政策手段 2）による効果のほうが大きくなることが言える。

ここで、 前節の比較静学分析の結果得られた (77)〜(80) 式、および本節の (81)(82) 式より、政策目標と政策手段についてまとめると、【表 4】のようになる。

[50] 計算の詳細は、数学付録 5-2 を参照。
[51] 計算の詳細は、数学付録 5-2 を参照。

【表 4】政策目標・政策手段のまとめ

<table>
<tr><th></th><th>（政策手段 1） 使用済み財への補助金 $\mathbf{s^d}$ の引き上げ</th><th>（政策手段 2） リサイクル資源への課税 $\mathbf{t^r}$ の引き上げ</th></tr>
<tr><td rowspan="2">（政策目標 1）
中古品輸出量 $\mathbf{EX^*}$ の増加</td><td colspan="2">**$\mathbf{K^w} \leq \mathbf{K^r}$ ならば、 常に、**</td></tr>
<tr><td>◎</td><td>○</td></tr>
<tr><td rowspan="2">（政策目標 2）リサイクル
残余物の輸出量 $\mathbf{RW^*}$ の減少</td><td colspan="2">**$\mathbf{K^w} \geq \mathbf{K^r}$ ならば、 常に、**</td></tr>
<tr><td>○</td><td>◎</td></tr>
</table>

【表 4】より、政策手段 1 と 2 のどちらを使っても、政策目標 1 も 2 も達成可能であることがわかる。ただし、政策手段がもたらす「政策効果の大きさ」には違いがある。ここで、「政策効果が大きい」とは、税と補助金を同じだけ引き上げたとき、より大きく政策目標を達成することが可能であることを意味する。【表 4】では、「◎」のほうが「○」よりも、「政策効果」が大きいことを示している。つまり、リサイクル業者による使用済み財の購入費用＋運搬費用 K^w が、企業によるリサイクル資源の購入費用 K^r 以下であるならば、常に、使用済み財への補助金 $\mathbf{s^d}$ の引き上げ（政策手段 1）による政策効果のほうが大きくなる一方、K^w が K^r 以上であるならば、常に、リサイクル資源への課税 $\mathbf{t^r}$ の引き上げ（政策手段 2）による効果のほうが大きくなる。

ここで、政策目標 1 に関して、リサイクル資源への課税 $\mathbf{t^r}$ の引き上げ（政策手段 2）による効果のほうが大きくなるケースを考えてみる。そのための必要条件は、リサイクル業者の費用のほうが、企業の費用よりも大きいこと（$K^w > K^r$）である。その他の可能性としては、家計による使用済み財の運搬費用が極めて高い（β が極めて大きい）ことや、リサイクル資源の生産性が極めて高い（ε が極めて大きい（1 に近い））ことが考えられる。一方、政策目標 2 に関して、使用済み財への補助金 $\mathbf{s^d}$ の引き上げ（政策手段 1）による効果のほうが大きくなるケースを考えてみる。そのための必要条件は、リサイクル業者の費用のほうが、企業の費用よりも小さいこと（$K^w < K^r$）である。その他の可能性としては、財の生産性が極めて低い（τ および ρ が極めて小さい）ことや、リサイクル資源の生産性が極めて高い（ε が極めて大きい）ことが考えられる。以上のことから、使用済み財の購入（運搬作業を含む）が、リサイクル資源の購入と比べて相対的に容易（$K^w < K^r$）ならば使用済み財への補助金 $\mathbf{s^d}$ のほうが、相対的に困難（$K^w > K^r$）ならばリサイクル資源への課税 $\mathbf{t^r}$ のほうが、政策効果が大きくなる可能性が高い、と言える。

5.5 使用済み財への補助金とリサイクル資源への課税との組み合わせ

本節では、前節の分析結果をもとに、使用済み財への補助金とリサイクル資源への課税とを組み合わせた政策について考察する。

以下では、使用済み財への補助金とリサイクル資源への課税を同時に変化させることを考え、最終的に、中古品輸出量およびリサイクル残余物の輸出量がどのように変化するかを比較する。具体的に考える政策の1つめは、使用済み財への補助金の引き上げと、リサイクル資源への課税の引き下げとの組み合わせ政策、すなわち、家計とリサイクル業者に対する「負担軽減策」である。2つめの政策は、使用済み財への補助金の引き下げと、リサイクル資源への課税の引き上げとの組み合わせ政策、すなわち、家計とリサイクル業者に対する「負担増大策」である。これら2つの政策を考え、中古品輸出量およびリサイクル残余物の輸出量の変化の度合い（増加度合いおよび減少度合い）を比較する。

分析の結果、中古品の輸出量に関しては、以下の命題が成立する[52]。

命題 8. 中古品の輸出量の増加という政策目標を優先したい場合には、使用済み財の購入（運搬作業を含む）が、リサイクル資源の購入と比べて相対的に容易（$K^w \leq K^r$）な状況において、「使用済み財への補助金の引き上げと、リサイクル資源への課税の引き下げとの組み合わせ」という家計とリサイクル業者に対する「負担軽減策」を採用すればよい。

【証明】 (77) 式と (78) 式より、以下の式が得られる。

$$\left(\frac{\partial \mathbf{EX}^*}{\partial \mathbf{s^d}}\right)_{\oplus} + \left(-\frac{\partial \mathbf{EX}^*}{\partial \mathbf{t^r}}\right)_{\ominus} = \left(\frac{1}{\beta}\right) + \left(\frac{1}{\varepsilon - 1}\right) \cdot \frac{w_D^*}{K^w K^r}\left(K^w - K^r\right) > 0 \qquad (83)$$
$$if \qquad K^w \leq K^r.$$

ただし、$K^w = \left(p_w^d + \mathbf{s^d}\right) + \psi,\ K^r = p_r^r - \mathbf{t^r}$ である。

（証明終）

また、リサイクル残余物の輸出量に関しては、以下の命題が成立する[53]。

命題 9. リサイクル残余物の輸出量の減少という政策目標を優先したい場合には、使用済み財の購入（運搬作業を含む）が、リサイクル資源の購入と比べて相対的に困難（$K^w \geq K^r$）な状況において、「使用済み財への補助金の引き下げと、リサイクル資源へ

[52] 命題 8 の計算の詳細については、数学付録 5-3 を参照。
[53] 命題 9 の計算の詳細については、数学付録 5-3 を参照。

の課税の引き上げとの組み合わせ」という家計とリサイクル業者に対する「負担増大策」を採用すればよい。

【証明】 (79) 式と (80) 式より、以下の式が得られる。

$$\left(-\frac{\partial \mathbf{RW}^*}{\partial \mathbf{s^d}}\right)_{\oplus} + \left(\frac{\partial \mathbf{RW}^*}{\partial \mathbf{t^r}}\right)_{\ominus} = \left(\frac{1-\tau}{\tau+\rho-1}\right)\cdot\frac{r_D^*}{K^r} + \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}\right)\cdot\frac{r_S^*}{K^w K^r}\left(K^w - K^r\right) < 0 \tag{84}$$

$$if \qquad K^w \geq K^r.$$

ただし、$K^w = \left(p_w^d + \mathbf{s^d}\right) + \psi,\ K^r = p_r^r - \mathbf{t^r}$ である。

（証明終）

以上 2 つの命題より、使用済み財への補助金とリサイクル資源への課税との組み合わせ政策を考える場合、廃棄物関連費用（運搬費用を含む使用済み財の購入費用）と、リサイクル資源の購入費用との大小関係に応じ、家計とリサイクル業者に対する「負担軽減策」と「負担増大策」を使い分ける必要があると言える。

5.6 まとめと考察

第 5 章のまとめと考察は、以下のようになる。

本章では、「自動車リサイクル法」に基づき、第 4 章の「3 市場 3 経済主体モデル」を変形させ、中古品の輸出量とリサイクル残余物の輸出量に着目した「開放経済モデル」を構築した。そして、使用済み財への補助金と、リサイクル資源への課税に着目して比較分析を行ったが、その結果をまとめると、次のようになる。まず、中古品の輸出量の増加という政策目標を優先したい場合には、使用済み財の購入（運搬作業を含む）が、リサイクル資源の購入と比べて相対的に容易な状況において、「使用済み財への補助金の引き上げと、リサイクル資源への課税の引き下げとの組み合わせ」という、家計とリサイクル業者に対する「負担軽減策」を採用すればよい（命題 8）ことが示された。一方、リサイクル残余物の輸出量の減少という政策目標を優先したい場合には、使用済み財の購入（運搬作業を含む）が、リサイクル資源の購入と比べて相対的に困難な状況において、「使用済み財への補助金の引き下げと、リサイクル資源への課税の引き上げとの組み合わせ」という、家計とリサイクル業者に対する「負担増大策」を採用すればよい（命題 9）ことがわかった。このように、使用済み財やリサイクル資源の購入のしやすさしにくさ

に応じ、使用済み財への補助金とリサイクル資源への課税との組み合わせにおいて、負担軽減策と負担増大策を使い分ける必要があることが示された。

「負担軽減策」、すなわち「使用済み財への補助金の引き上げと、リサイクル資源への課税の引き下げとの組み合わせ」を採用した場合、中古品輸出量は増加するものの、リサイクル残余物の輸出量も増加してしまう可能性が高い。つまり、政策目標 1 は達成できるものの、政策目標 2 は達成できない可能性が高い。ここで、「可能性」と表現しているのは、厳密には、使用済み財の購入（運搬作業を含む）が、リサイクル資源の購入と比べて相対的に容易（$K^w \leq K^r$）な状況なのか、それとも困難な（$K^w \geq K^r$）な状況なのか、といったことも考慮しなければならないからである。しかし、政策目標 2 が達成されないことが、果たして望ましくないことと言い切れるのであろうか。確かに、不正なリサイクルが行われたり、使い物にならないような粗雑なリサイクル資源・金属などが生み出されたりしている場合もある。しかし、生み出されたリサイクル資源の中には、非常に有用なものも多く、リサイクル残余物の輸出量の「増加」が歓迎されることもある。こういった状況において、使用済み財への補助金とリサイクル資源への課税との組み合わせ政策を考える場合には、「負担軽減策」が望ましいと考えられる。逆に、「負担増大策」、すなわち「使用済み財への補助金の引き下げと、リサイクル資源への課税の引き上げとの組み合わせ」を採用した場合、リサイクル残余物の輸出量は減少するものの、中古品の輸出量も減少してしまう可能性が高い。つまり、政策目標 2 は達成できるものの、政策目標 1 は達成できない可能性が高い。この場合も、政策目標 1 が達成されないことが、果たして望ましくないこととは言い切れないかも知れない。中古品の輸出において、不正な取引が行われていた場合には、中古品の輸出量の「減少」のほうが歓迎されることもある。こういった状況において組み合わせ政策を考える場合には、「負担増大策」が望ましいと考えられる。

おわりに

本論文の全体をまとめると、以下のようになる。

第１章では、廃棄物処理政策に関する先行研究を紹介するとともに、「廃棄物とリサイクルの概念図」を提示し、本研究の特徴を示した。

第２章では、「家電リサイクル法」をベースとし、家計と企業（家電メーカー）という２経済主体と、それらをつなぐ財市場を考慮したモデルを構築した。政府による不法投棄の摘発確率（取り締まり政策）に着目して比較静学分析を行った結果、以下のような命題が得られた。不法投棄の摘発確率が下落し、不法投棄の取り締まりが緩和されると、均衡におけるリサイクル量は増加し（命題１）、均衡における残余廃棄物量は減少する（命題3)。逆に、バージン資源量を減少させるためには、不法投棄の摘発確率の上昇、すなわち、不法投棄の取り締まり強化策が必要である（命題2）ことがわかった。ただし、上述のような命題が得られたのは、「企業は、埋立補助金を受け取って埋立処理することが可能である」という特殊な仮定を置いていることにも大きく依存している。いずれにせよ、元々は家計に対して行った政府政策（ここでは、摘発確率の操作）が、企業の行動にまで影響を及ぼすことがわかった。

続く第３章では、第２章のモデルを発展させ、社会的厚生分析を行った。社会的厚生関数を設定し、政府の最適政策について検討した結果、不法投棄による環境被害費用が上昇した場合、政府は、不法投棄の最適摘発確率を上げるべき（命題4）だが、残余廃棄物による環境被害費用が上昇した場合には、逆に下げるべきである（命題5）ことが示された。つまり、深刻化する環境問題のタイプに応じて、政府は使用すべき政策を変更する必要がある、と提言することができた。

そして、第４章では、「容器包装リサイクル法」をベースとし、3経済主体（家計、リサイクル業者、企業）と、それらをつなぐ３市場（財市場、廃棄物市場、リサイクル資源市場）を考慮した「3市場３経済主体モデル」を構築した。家計に対する２つの政策手段（財の購入に対する課税と、家計廃棄物の合法処理に対する補助金）に着目し、２つの政策目標（バージン資源購入量の減少と、リサイクル資源需要量の増加）の達成に関し、比較分析を行った。その結果、財の購入に対する課税という１つの政策だけでは、２つの政策目標を同時に達成することは不可能である（命題6）一方、財に関する需要の価格弾力性が非弾力的（弾力性 <1）のときに限り、家計廃棄物の合法処理に対する補助金という１つの政策だけを用いたとしても、２つの政策目標を同時に達成することが可能となる

（命題7）ことがわかった。このように、財に関する需要の価格弾力性、および当面の政策目標の優先順位の違いによって、家計に対する課税や補助金の水準を、異なる方向へ変更していく必要があることが示された。

続く第5章では、「自動車リサイクル法」をベースとし、第4章の「3市場3経済主体モデル」を変形させ、中古品の輸出量とリサイクル残余物の輸出量に着目したモデルを構築した。使用済み財への補助金と、リサイクル資源への課税に着目して比較分析を行った結果、以下のような命題が得られた。中古品の輸出量の増加という政策目標を優先したい場合には、使用済み財の購入（運搬作業を含む）が、リサイクル資源の購入と比べて相対的に容易な状況において、「使用済み財への補助金の引き上げと、リサイクル資源への課税の引き下げとの組み合わせ」という、家計とリサイクル業者に対する「負担軽減策」を採用すればよい（命題8）。これに対し、リサイクル残余物の輸出量の減少という政策目標を優先したい場合には、使用済み財の購入（運搬作業を含む）が、リサイクル資源の購入と比べて相対的に困難な状況において、「使用済み財への補助金の引き下げと、リサイクル資源への課税の引き上げとの組み合わせ」という「負担増大策」を採用すればよい（命題9）。このように、使用済み財やリサイクル資源の購入のしやすさしにくさに応じ、使用済み財への補助金とリサイクル資源への課税との組み合わせにおいて、負担軽減策と負担増大策を使い分ける必要があることが示された。

本研究では、中古品やリサイクル残余物の輸出可能性を考慮したものの、海外の市場については分析していない。そこで、今後の課題としては、バージン資源市場、中古品やリサイクル残余物の海外市場を新たに設定し、環境被害がもたらす外部性と、それに対する政府政策の組み合わせについても分析していきたい。また、本モデルでは、家計に対する政策として課税や補助金を考え、比較静学分析を行ったが、すべて個別に検証している。したがって、今後は、課税と補助金を組み合わせを考慮した、より複雑なモデルを想定し、分析を拡張したい。さらに、本論文では、「家電リサイクル法」、「容器包装リサイクル法」、「自動車リサイクル法」などの法制度を念頭に置き、モデルを構築した。これをもとに、現状の法制度と、制度変更を想定したケースとを比較することで、政策インプリケーションを導出していくことも、今後の課題の1つである。

参考文献

References

[1] Asako, K. (1979), Environmental Pollution in an Open Economy, *Economic Record*, 55, 359-367.

[2] Baumol, W. (1971), *Environmental Protection, International Spillovers, and Trade*, Stockholm: Almkvist & Wicksell.

[3] Becker, G. S. (1968), Crime and Punishment: An Economic Approach, *Journal of Political Economy*, 76, 169–217.

[4] Calcott, P. and M. Walls (2000), Can Downstream Waste Disposal Policies Encourage Upstream "Design for Environment"?, *American Economic Review*, 90, 233–237.

[5] Choe, C. and I. Fraser (1999), An Economic Analysis of Household Waste Management, *Journal of Environmental Economics and Management*, 38, 234–246.

[6] Cohen, M. A. (1999), Monitoring and Enforcement of Environmental Policy, in H. Folmer and T. Tietenberg (eds.), *The International Yearbook of Environmental and Resource Economics 1999/2000*, Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing.

[7] Copeland, B. (1994), International Trade and the Environment: Policy Reform in a Polluted Small Open Economy, *Journal of Environmental Economics and Management*, 26, 44-65.

[8] Dinan, T. M. (1993), Economic Efficiency Effects of Alternative Policies for Reducing Waste Disposal, *Journal of Environmental Economics and Management*, 25, 242–256.

[9] Dobbs. I. M. (1991), Litter and Waste Management: Disposal Taxes Versus User Charges, *Canadian Journal of Economics*, 24, 221-227.

[10] Eichner, T. and R. Pethig (1999), Product Design and Alternative Market Schemes for Solid Waste Treatment and Disposal, *Discussion Paper*, 73-99, University of Siegen.

[11] 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.

[12] Fullerton, D. and T. C. Kinnaman (1995), Garbage, Recycling and Illicit Burning or Dumping, *Journal of Environmental Economics and Management*, 29, 78–91.

[13] Fullerton, D. and T. C. Kinnaman (1996), Household Responses to Pricing Garbage by the Bag, *American Economic Review*, 86, 971–984

[14] Fullerton, D. and W. Wu (1998), Policies for Green Design, *Journal of Environmental Economics and Management*, 36, 131–148

[15] Heyes, A. (2000), Implementing Environmental Regulation: Enforcement and Compliance, *Journal of Regulatory Economics*, 17, 107–129.

[16] Highfill, J. and M. McAsey (1997), Municipal Waste Management: Recycling and Landfill Space Constraints, *Journal of Urban Economics*, 41, 118–136.

[17] Holterman, S. (1976), Alternative Tax Systems to Correct for Externalities, and the Efficiency of Paying Compensation, *Economica*, 43, 1–16.

[18] Huhtala, A. (1997), A Post-Consumer Waste Management Model for Determining Optimal Levels of Recycling and Landfilling, *Environmental and Resource Economics*, 10, 301–314.

[19] Kinnaman, T. C. and D. Fullerton (1999), The Economics of Residential Solid Waste Management, *NBER Working Paper*, No. 7326.

[20] Kohn, R. E. (1995), Convex Combinations of Recycling Incentives, *Mathematical and Computer Modelling*, 21, 13–21.

[21] Krutilla, K. (1991), Environmental Regulation in an Open Economy, *Journal of Environmental Economics and Management*, 20, 127-142.

[22] Lusky, R. (1976), A Model of Recycling and Pollution Control, *Canadian Journal of Economics*, 9, 91–101.

[23] McGuire, M. (1982), Regulation, Factor Rewards, and International Trade, *Journal of Public Economics*, 17, 335-354.

[24] Merrifield, J. D. (1988), The Impact of Selected Abatement Strategies on Transnational Pollution, the Terms of Trade, and Factor Rewards: A General Equilibrium Approach, *Journal of Environmental Economics and Management*, 15, 259-284.

[25] Miedema, A. K. (1983), Fundamental Economic Comparisons of Solid Waste Policy Options, *Resources and Energy*, 5, 21–43.

[26] Morris, A. and D. M. Holthausen (1994), The Economics of Household Solid Waste Generation and Disposal, *Journal of Environmental Economics and Management*, 26, 215–234.

[27] Neary, P. (2000), *Trade and the Environment*: *Theoretical and Policy Linkages*, University College Dublin mimeo.

[28] Onoda, M. (2012), On Second-best Policing Effort against the Illegal Disposal of Recyclable Waste, *Environmental Economics and Policy Studies*, 14, 171–188.

[29] Palmer, K., H. Sigman, and M. Walls (1997), The Costs of Reducing Municipal Solid Waste, *Journal of Environmental Economics and Management*, 33, 128–150.

[30] Palmer, K. and M. Walls (1997), Optimal Policies for Solid Waste Disposal Taxes, Subsidies, and Standards, *Journal of Public Economics*, 65, 193–205.

[31] Pethig, R. (1976), Pollution, Welfare and Environmental Policy in the Theory of Comparative Advantage, *Journal of Environmental Economics and Management*, 2, 160-169.

[32] Podolsky, M. J. and M. Spiegel (1998), Municipal Waste Disposal: Unit-Pricing and Recycling Opportunities, *Public Works Management and Poli*cy, 3, 27-39.

[33] Polinsky, A. M. and S. Shavell (2000), The Economic Theory of Public Enforcement of Law, *Journal of Economic Literature*, 38, 45–76.

[34] Rauscher, M. (1994), On Ecological Dumping, *Oxford Economic Papers*, 46, 822-840.

[35] Repetto, R. and R. C. Dower, R. Jenkins, and J. Geoghegan (1992), *Gree Fees: How a Tax Shift Can Work for the Environment and the Economy*, Washington DC, USA: The World Resources Institute.

[36] Porter, R. C. (2002), *The Economics of Waste*, Washington DC, USA: Resources for the Future.

[37] Shinkuma, T. (2003), On the Second-best Policy for Household Waste Recycling, *Environmental and Resource Economics*, 24, 77–95.

[38] Shinkuma, T. and S. Managi (2010), On the Effectiveness of a License Scheme for E-waste Recycling: The Challenge of China and India, *Environmental Impact Assessment Review*, 30, 262–267.

[39] Siebert, H., J. Eichenberger, R. Gronych, and R. Pethig (1980), Trade and Environment: *A Theoretical Enquiry*, Amsterdam and Oxford: Elsevier Science Publishers.

[40] Sigman, H. (1995), A Comparison of Public Policies for Lead Recycling, *Rand Journal of Economics*, 26, 452–478.

[41] Smith, V. L. (1972), Dynamics of Waste Disposal: Disposal Versus Recycling, *Quarterly Journal of Economics*, 86, 600–616.

[42] Sturm, D. (2003), Trade and the Environment: A Survey of the Literature, in L. Marsiliani, M. Rauscher and C. Withagen (eds.), *Environmental Policy in an International Perspective*, Kluwer Academic Publishers.

[43] Sullivan, A. (1987), Policy Options for Toxics Disposal: Laissez-Faire, Subsidization, and Enforcement, *Journal of Environmental Economics and Management*, 14, 58–71.

[44] Ulph, A. (1997), International Trade and the Environment: A Survey of Recent Economic Analysis, in H. Folmer and T. Tietenberg (eds.), *The International Yearbook of Environmental and Resource Economics 1997/1998*, Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing.

[45] 石川雅紀、竹内憲司訳 (2005) 「入門 廃棄物の経済学」（東洋経済新報社）

[46] 環境省 廃棄物・リサイクル対策部 (2012) 「一般廃棄物の排出及び処理状況等（平成 22 年度）について」（環境省）

[47] 環境省 廃棄物・リサイクル対策部 (2010) 「平成 21 年度廃家電の不法投棄等の状況について」（環境省）

[48] 環境省 HP

[49] 経済産業省 HP

[50] 財団法人　自動車リサイクル促進センター HP

[51] 財団法人　日本容器包装リサイクル協会 HP

数学付録1：「1段階」的解法（効用最大化と利潤最大化）

この付録では、第2章で示した家計の最適化行動、および企業の最適化行動に関し、「1段階」的解法を用いて同時に解いたとしても、命題1〜命題3の結果は、本質的には変わらないことを示す。まず、家計の最適化行動に関しては、第2章で示したように、「家計の廃棄物費用最小化問題 ⇒ 効用最大化問題」という2段階ではなく、「廃棄物費用をも考慮した効用最大化問題」として同時に解くことを考える。同様に、企業の最適化行動に関しても、第2章で示したように、「企業の費用最小化問題 ⇒ 利潤最大化問題」という2段階ではなく、「企業の費用も含めた利潤最大化問題」として同時に解くことを考える。

家計の効用最大化

家計は、廃棄物処理に関連する費用なども考慮に入れた所得制約条件のもとで、効用を最大にするものとする。このとき、効用関数、および所得制約条件は、それぞれ、(A1.1)式、および(A1.2)式のように表すことができる。

$$\underset{x_D,\ z}{Max}\ U\left(x_D, z\right) = \theta x_D - \frac{1}{2}\left(x_D\right)^2 + z, \tag{A1.1}$$

$$s.t. \quad I = px_D + z + \alpha w + \frac{\beta}{2}w^2 + \pi\phi\left(x_D - w\right) + \frac{\eta}{2}\left(x_D - w\right)^2. \tag{A1.2}$$

(A1.2)式を(A1.1)式に代入し、zを消去すると、家計の効用最大化問題は、以下のように書き換えることができる。

$$\underset{x_D, w}{Max}\ U\left(x_D, w\right) = \theta x_D - \frac{1}{2}\left(x_D\right)^2 + \left[I - px_D - \alpha w - \frac{\beta}{2}w^2 - \pi\phi\left(x_D - w\right) - \frac{\eta}{2}\left(x_D - w\right)^2\right]. \tag{A1.3}$$

(A1.3)式に関して、1階の条件を求めると、以下のようになる[54]。

$$\frac{\partial U}{\partial x_D} = \theta - x_D - p - \pi\phi - \eta\left(x_D - w\right) = 0, \tag{A1.4}$$

$$\frac{\partial U}{\partial w} = -\alpha - \beta w + \pi\phi + \eta\left(x_D - w\right) = 0. \tag{A1.5}$$

[54] $\frac{\partial^2 U}{\partial (x_D)^2} = -\left(1+\eta\right) < 0,\quad \frac{\partial^2 U}{\partial w^2} = -\left(\beta+\eta\right) < 0,$
$\begin{vmatrix} \frac{\partial^2 U}{\partial (x_D)^2} & \frac{\partial^2 U}{\partial x_D \partial w} \\ \frac{\partial^2 U}{\partial w \partial x_D} & \frac{\partial^2 U}{\partial w^2} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -\left(1+\eta\right) & \eta \\ \eta & -\left(\beta+\eta\right) \end{vmatrix} = \beta + \eta + \beta\eta > 0$ となり、
極大のための2階の条件も満たされる。

企業の利潤最大化

企業は、財の生産関数という制約のもとで、利潤を最大にするものとする。このとき、利潤関数、および財の生産関数は、それぞれ、(A1.6) 式、および (A1.7) 式のように表すことができる。

$$\underset{v,\ r}{Max}\ \Pi = p \cdot x_S + \gamma\left(\mathbf{w}^* - r\right) - \left(p_v v + p_r r\right), \tag{A1.6}$$

$$s.t. \quad x_S = v^{\tau} r^{\rho}. \tag{A1.7}$$

(A1.7) 式を (A1.6) 式に代入すると、企業の利潤最大化問題は、以下のように書き換えることができる。

$$\underset{v,r}{Max}\ \Pi\left(v, r\right) = p \cdot \left(v^{\tau} r^{\rho}\right) + \gamma\left(\mathbf{w}^* - r\right) - \left(p_v v + p_r r\right). \tag{A1.8}$$

$$\left(\mathbf{w}^* = \frac{\eta}{\beta+\eta} x_D + \frac{\pi\phi - \alpha}{\beta+\eta}\right)$$

(A1.8) 式に関して、1 階の条件を求めると、以下のようになる[55]。

$$\frac{\partial \Pi}{\partial v} = \tau p_x v^{\tau-1} r^{\rho} - p_v = 0, \tag{A1.9}$$

$$\frac{\partial \Pi}{\partial r} = \rho p_x v^{\tau} r^{\rho-1} - \left(p_r + \gamma\right) = 0. \tag{A1.10}$$

財市場の均衡

また、財市場の均衡式は、(A1.11) 式のように表すことができる。

$$x_D = x_S. \tag{A1.11}$$

[55] $\frac{\partial^2 \Pi}{\partial v^2} = \tau\left(\tau-1\right) p_x v^{\tau-2} r^{\rho} < 0,\quad \frac{\partial^2 \Pi}{\partial r^2} = \rho\left(\rho-1\right) p_x v^{\tau} r^{\rho-2} < 0,$
$\begin{vmatrix} \frac{\partial^2 \Pi}{\partial v^2} & \frac{\partial^2 \Pi}{\partial v \partial r} \\ \frac{\partial^2 \Pi}{\partial r \partial v} & \frac{\partial^2 \Pi}{\partial r^2} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \tau\left(\tau-1\right) p_x v^{\tau-2} r^{\rho} & \tau\rho p_x v^{\tau-1} r^{\rho-1} \\ \tau\rho p_x v^{\tau-1} r^{\rho-1} & \rho\left(\rho-1\right) p_x v^{\tau} r^{\rho-2} \end{vmatrix}$
$= \tau\rho p_x \left(v^{\tau-1} r^{\rho-1}\right)^2 \cdot \left[\left(\tau-1\right)\left(\rho-1\right) - \tau\rho\right] = \left(1-\tau-\rho\right)\tau\rho p_x \left(v^{\tau-1} r^{\rho-1}\right)^2 > 0.$
（ただし、$0 < \tau < 1,\ 0 < \rho < 1,\ 0 < \tau + \rho < 1$ と仮定）となり、
極大のための 2 階の条件も満たされる。

(A1.7) 式を、(A1.11) 式に代入して整理すると、以下のようになる。

$$x_D = v^\tau r^\rho,$$

$$\therefore x_D - v^\tau r^\rho = 0. \tag{A1.12}$$

比較静学分析

家計の効用最大化から得られた 1 階の条件（(A1.4) 式 (A1.5) 式）の 2 本と、企業の利潤最大化から得られた 1 階の条件（(A1.9) 式 (A1.10) 式）の 2 本、および、財市場の均衡式（(A1.12) 式）の合計 5 本の式を用いて、比較静学分析を行う。

上記の 5 本の式を満たす $x_D,\ w,\ v,\ r,\ p$ を、それぞれ、$x_D^*,\ w^*,\ v^*,\ r^*,\ p^*$ として書き換えると、(A1.4)(A1.5)(A1.9)(A1.10)(A1.12) 式は、以下のようになる。

$$F^1\left(x_D^*, w^*, p^*\right) \equiv \theta - x_D^* - p^* - \pi\phi - \eta\left(x_D^* - w^*\right) = 0, \tag{A1.4'}$$

$$F^2\left(x_D^*, w^*\right) \equiv -\alpha - \beta w^* + \pi\phi + \eta\left(x_D^* - w^*\right) = 0, \tag{A1.5'}$$

$$F^3\left(v^*, r^*, p^*\right) \equiv \tau p^*\left(v^*\right)^{\tau-1}\left(r^*\right)^{\rho-1} - p_v = 0, \tag{A1.9'}$$

$$F^4\left(v^*, r^*, p^*\right) \equiv \rho p^*\left(v^*\right)^{\tau}\left(r^*\right)^{\rho-1} - \left(p_r + \gamma\right) = 0, \tag{A1.10'}$$

$$F^5\left(x_D^*, v^*, r^*\right) \equiv x_D^* - \left(v^*\right)^{\tau}\left(r^*\right)^{\rho} = 0. \tag{A1.12'}$$

この 5 本の式に関して、比較静学方程式を作ると、(A1.13) 式のようになる。

$$J\begin{bmatrix} dx_D^* \\ dw^* \\ dv^* \\ dr^* \\ dp^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{\partial F^1}{\partial \pi} & \cdots \\ -\frac{\partial F^2}{\partial \pi} & \cdots \\ -\frac{\partial F^3}{\partial \pi} & \cdots \\ -\frac{\partial F^4}{\partial \pi} & \cdots \\ -\frac{\partial F^5}{\partial \pi} & \cdots \end{bmatrix}\begin{bmatrix} d\pi \\ \vdots \end{bmatrix}. \tag{A1.13}$$

ただし、ヤコビアン $J < 0$.

ここで、π 以外を固定すると、次のようになる。

$$J\begin{bmatrix} dx_D^* \\ dw^* \\ dv^* \\ dr^* \\ dp^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{\partial F^1}{\partial \pi} \\ -\frac{\partial F^2}{\partial \pi} \\ -\frac{\partial F^3}{\partial \pi} \\ -\frac{\partial F^4}{\partial \pi} \\ -\frac{\partial F^5}{\partial \pi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi \\ -\phi \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}. \tag{A1.14}$$

さらに、(A1.14) 式において、クラメールの公式を適用して計算すると、以下の結果が得られる。

$$\frac{dv^*}{d\pi} < 0, \tag{A1.15}$$
$$\frac{dr^*}{d\pi} < 0, \tag{A1.16}$$
$$\frac{d\left(w^* - r^*\right)}{d\pi} = \frac{dw^*}{d\pi} - \frac{dr^*}{d\pi} > 0. \tag{A1.17}$$

このとき、(A1.15) 式は命題 2 を、(A1.16) 式は命題 1 を、そして (A1.17) 式は命題 3 を表しており、3 つとも、第 2 章と同じ結果が得られている。

以上より、第 2 章で示した家計の最適化行動、および企業の最適化行動に関し、「1 段階」的解法を用いて同時に解いたとしても、命題 1〜命題 3 の結果は、本質的には変わらないことが示された。

数学付録 2：(23)〜(26) 式の計算

この付録では、第 2 章第 3 節の (23)〜(26) 式に関し、計算の詳細を示す。

(23)： $\frac{\mathbf{dx}^*}{\mathbf{d}\pi} < \mathbf{0}$. ただし、$\mathbf{x}^*\,(=\mathbf{x}_\mathbf{D}^* = \mathbf{x}_\mathbf{S}^*)$ とする。

政府による不法投棄の摘発確率π が上昇し、不法投棄に対する取り締まりが強化されると、均衡における財の量x^* は減少する。

【証明】 第 2 章の (22) 式において、右辺の項を左辺に移項すると、(A2.1) 式のように書き直すことができる。

$$F_C : \left\{-\left(\frac{\beta+\eta+\beta\eta}{\beta+\eta}\right)x_D + \left(\theta - \frac{\alpha\eta+\beta\pi\phi}{\beta+\eta}\right)\right\} - \left(\frac{1}{\tau+\rho}\right)C^{v,r}\cdot(x_S)^{\frac{1}{\tau+\rho}-1} + \gamma\frac{\eta}{\beta+\eta} = 0. \tag{A2.1}$$

ここで、(A2.1) 式が均衡解 x^* を持つとすると、陰関数は以下のように表すことができる。

$$x^* = x^*(\alpha, \beta, \pi, \phi, ...). \tag{A2.2}$$

(A2.2) 式において、不法投棄の摘発確率 π 以外のパラメータを固定し、陰関数の定理を適用すると以下のようになり、(23) 式を求めることができる。

$$\begin{aligned}\frac{dx^*}{d\pi} &= -\frac{\left(\frac{\partial F_C}{\partial \pi}\right)}{\left(\frac{\partial F_C}{\partial x}\right)} \\ &= -\frac{-\left(\frac{\beta\phi}{\beta+\eta}\right)}{-\left(\frac{\beta+\eta+\beta\eta}{\beta+\eta}\right) - \left(\frac{1}{\tau+\rho}\right)\left(\frac{1}{\tau+\rho}-1\right)C^{v,r}\cdot(x_S)^{\frac{1}{\tau+\rho}-2}} < 0. \\ &\quad (\because 0 < \tau+\rho < 1.)\end{aligned} \tag{A2.3}$$

（証明終）

(24)： $\frac{\mathbf{dp}^*}{\mathbf{d}\pi} < \mathbf{0}$.

政府による不法投棄の摘発確率π が上昇し、不法投棄に対する取り締まりが強化されると、均衡における財の価格p^* は下落する。

【証明】 第 2 章の (21) 式、および (A2.3) 式を用いると以下のようになり、(24) 式が得られる。

$$\begin{aligned}\frac{dp^*}{d\pi} &= \frac{\partial p^*}{\partial x_S^*}\cdot\frac{dx^*}{d\pi}\\ &= \left(\frac{1}{\tau+\rho}\right)\left(\frac{1}{\tau+\rho}-1\right)C^{v,r}\cdot(x_S)^{\frac{1}{\tau+\rho}-2}\cdot\frac{dx^*}{d\pi}<0. \qquad \text{(A2.4)}\\ &(\because 0<\tau+\rho<1.)\end{aligned}$$

(証明終)

(25) : $\mathbf{\frac{dw^*}{d\pi} > 0}$.

政府による不法投棄の摘発確率π が上昇し、不法投棄に対する取り締まりが強化されると、均衡における家計廃棄物の合法処理量w^* は増加する。

【証明】 第 2 章の (3) 式、および (A2.3) 式を用いると以下のようになり、(25) 式が得られる。

$$\begin{aligned}\frac{dw^*}{d\pi} &= \frac{\partial w^*}{\partial x_D^*}\cdot\frac{dx^*}{d\pi}+\frac{\partial w^*}{\partial\pi}\\ &= \left(\frac{\eta}{\beta+\eta}\right)\cdot\frac{dx^*}{d\pi}+\left(\frac{\phi}{\beta+\eta}\right) > \left(\frac{\eta}{\beta+\eta}\right)\cdot\left(-\frac{\beta\phi}{\beta+\eta+\beta\eta}\right)+\left(\frac{\phi}{\beta+\eta}\right)\\ &> \left(\frac{\eta}{\beta+\eta}\right)\cdot\left(-\frac{\phi}{\eta}\right)+\left(\frac{\phi}{\beta+\eta}\right)=0. \qquad \text{(A2.5)}\\ &\left(\because -\left(\frac{\phi}{\eta}\right)<-\left(\frac{\beta\phi}{\beta+\eta+\beta\eta}\right)<\frac{dx^*}{d\pi}<0.\right)\end{aligned}$$

(証明終)

摘発確率 π が上昇し、不法投棄の取り締まりが厳しくなると、均衡における家計廃棄物の合法処理量 w^* は、直接的には増加する。一方、(A2.3) 式で示されたように、摘発確率 π が上昇すると、均衡における財の量 x_D^* が減少するので、その結果として、家計廃棄物の合法処理量 w^* は間接的に減少する。ただし、$\frac{\partial w^*}{\partial x_D^*}\cdot\frac{dx^*}{d\pi}$ で表される間接的な減少度合い（絶対値）は、直接的な増加度合い $\frac{\partial w^*}{\partial\pi}$ よりも常に小さくなる。したがって、全体として考えると、$\frac{dw^*}{d\pi}$ の符号は、常にプラスとなる。

(26)：$\mathbf{\frac{d(x^{*}-w^{*})}{d\pi} < 0}$.

政府による不法投棄の摘発確率π が上昇し、不法投棄に対する取り締まりが強化されると、均衡における家計廃棄物の不法投棄量$(x^{*}-w^{*})$ は減少する。

【証明】 (A2.3) 式および (A2.5) 式（あるいは、第 2 章の (23) 式および (25) 式）を用いると以下のようになり、(26) 式を求めることができる。

$$\frac{d\left(x^{*}-w^{*}\right)}{d\pi}=\frac{dx^{*}}{d\pi}-\frac{dw^{*}}{d\pi}<0. \tag{A2.6}$$

（証明終）

本付録をまとめると、以下のようになる。

政府による不法投棄の摘発確率が上昇し、不法投棄に対する取り締まりが強化されると、均衡においては、財の量は減少し（(A2.3) 式）、財の価格は下落する（(A2.4) 式）。また、家計廃棄物の合法処理量は増加し（(A2.5) 式）、不法投棄量は減少する（(A2.6) 式）ことになる。

数学付録 3：命題 4 および命題 5 の計算

この付録では、第 3 章第 2 節の命題 4 および命題 5 に関し、計算の詳細を示す。

第 3 章の (32) 式および (33) 式より、社会的厚生関数、および 1 階の条件は、それぞれ以下のように求められた。

$$\begin{aligned}\underset{\pi}{Max}\ W(\pi) = &\left[\theta x_D^* - \frac{1}{2}(x_D^*)^2 + \left\{I - \frac{\beta}{2}(w^*)^2 - \frac{\eta}{2}(x_D^* - w^*)^2\right\}\right] \\ &- C^P(x_S^*) - \frac{\mu}{2}\pi^2 - \{\delta_d(x_D^* - w^*) + (\delta_l + \gamma)(w^* - r^*)\}.\end{aligned}$$

$$\left[\left(\frac{\partial W}{\partial x_D^*} + \frac{\partial W}{\partial x_S^*}\right)\frac{dx^*}{d\pi} + \frac{\partial W}{\partial w^*}\cdot\frac{dw^*}{d\pi} + \frac{\partial W}{\partial r^*}\cdot\frac{dr^*}{d\pi}\right] + \frac{\partial W}{\partial \pi} = 0. \tag{A3.1}$$

この (A3.1) 式に関し、x_D^* および x_S^* に関する偏導関数は、(A3.2) 式のように表すことができる[56]。

$$\begin{aligned}\frac{\partial W}{\partial x_D^*} + \frac{\partial W}{\partial x_S^*} &= \{\theta - x_D^* - \eta(x_D^* - w^*)\} - \delta_d - MC^P(x_S^*) \\ &= \pi\phi - \delta_d.\end{aligned} \tag{A3.2}$$

$$\because \theta - x_D^* - \eta(x_D^* - w^*) = p^* + \pi\phi. \tag{A3.3}$$

$$\because MC^P(x_S^*) = p^*. \tag{A3.4}$$

同様に、w^* に関する偏導関数は、以下のように書き表すことができる[57]。

$$\begin{aligned}\frac{\partial W}{\partial w^*} &= \{-\beta w^* + \eta(x_D^* - w^*)\} + (\delta_d - \delta_l - \gamma) \\ &= (\alpha - \pi\phi) + (\delta_d - \delta_l - \gamma).\end{aligned} \tag{A3.5}$$

---

[56](A3.3) 式は、第 2 章の (2) 式および (8) 式から得られる、家計の最適化行動における 1 階の条件である。同様に、(A3.4) 式は、 第 2 章の (20) 式から得られる、企業の最適化行動における 1 階の条件を表している。したがって、(A3.3) 式と (A3.4) 式 2 つの 1 階の条件を、社会的厚生の最大化問題と組み合わせることにより、(A3.2) 式を得ることができる。

[57](A3.6) 式は、第 2 章の (2) 式から得られる、家計の最適化行動における 1 階の条件である。この (A3.6) 式を、社会的厚生の最大化問題と組み合わせることにより、(A3.5) 式を得ることができる。

$$\because -\beta w^{*} + \eta \left(x_{D}^{*} - w^{*}\right) = \left(\alpha - \pi\phi\right). \tag{A3.6}$$

さらに、r^{*} に関する偏導関数は、以下のようになる。

$$\frac{\partial W}{\partial r^{*}} = \delta_{l} + \gamma. \tag{A3.7}$$

最後に、(A3.1) 式を F_W とおき、(A3.2)(A3.5)(A3.7) 式を (A3.1) 式に代入すると、(A3.1) 式は以下のように書き換えることができる。

$$F_{W} \equiv \left[(\pi\phi - \delta_{d}) \cdot \frac{dx^{*}}{d\pi} + \{(\alpha - \pi\phi) + (\delta_{d} - \delta_{l} - \gamma)\} \cdot \frac{dw^{*}}{d\pi} + (\delta_{l} + \gamma) \cdot \frac{dr^{*}}{d\pi}\right] - \mu\pi = 0. \tag{A3.8}$$

第 3 章で示したように、(A3.8) 式が均衡解 π^{*} を持つとすると、陰関数は以下のように書くことができる。

$$\pi^{*} = \pi^{*}(\delta_{d}, \delta_{l}, ...). \tag{A3.9}$$

(A3.9) 式において、陰関数の定理を適用すると、以下のようになる。

$$\frac{\partial F_{W}}{\partial \pi} d\pi + \frac{\partial F_{W}}{\partial \delta_{d}} d\delta_{d} = 0 \ \Rightarrow \ \frac{\partial \pi^{*}}{\partial \delta_{d}} = -\frac{\left(\frac{\partial F_{W}}{\partial \delta_{d}}\right)}{\left(\frac{\partial F_{W}}{\partial \pi}\right)}. \tag{A3.10}$$

$$\frac{\partial F_{W}}{\partial \pi} d\pi + \frac{\partial F_{W}}{\partial \delta_{l}} d\delta_{l} = 0 \ \Rightarrow \ \frac{\partial \pi^{*}}{\partial \delta_{l}} = -\frac{\left(\frac{\partial F_{W}}{\partial \delta_{l}}\right)}{\left(\frac{\partial F_{W}}{\partial \pi}\right)}. \tag{A3.11}$$

ここで、(A3.8) 式について、第 2 章で求められた (26) 式および (29) 式を用いると、以下の (A3.12)〜(A3.14) 式が得られる。

$$\frac{\partial F_{W}}{\partial \pi} = \left(\frac{dx^{*}}{d\pi} - \frac{dw^{*}}{d\pi}\right)\phi - \mu < 0, \tag{A3.12}$$

$$\frac{\partial F_{W}}{\partial \delta_{d}} = -\left(\frac{dx^{*}}{d\pi} - \frac{dw^{*}}{d\pi}\right) > 0, \tag{A3.13}$$

$$\frac{\partial F_{W}}{\partial \delta_{l}} = -\frac{dw^{*}}{d\pi} + \frac{dr^{*}}{d\pi} = -\left(\frac{dw^{*}}{d\pi} - \frac{dr^{*}}{d\pi}\right) = -\frac{d\left(w^{*} - r^{*}\right)}{d\pi} < 0. \tag{A3.14}$$

(A3.12) 式および (A3.13) 式の結果を、(A3.10) 式に適用すると、以下のようになり、(36) 式が得られる。

$$\frac{\partial \pi^*}{\partial \delta_d} = -\frac{\left(\frac{\partial F_W}{\partial \delta_d}\right)}{\left(\frac{\partial F_W}{\partial \pi}\right)} = -\frac{-\left(\frac{dx^*}{d\pi} - \frac{dw^*}{d\pi}\right)}{\left(\frac{dx^*}{d\pi} - \frac{dw^*}{d\pi}\right)\phi - \mu} > 0. \tag{A3.15}$$

同様に、(A3.12) 式および (A3.14) 式の結果を、(A3.11) 式に適用すると、以下のようになり、(37) 式が得られる。

$$\frac{\partial \pi^*}{\partial \delta_l} = -\frac{\left(\frac{\partial F_W}{\partial \delta_l}\right)}{\left(\frac{\partial F_W}{\partial \pi}\right)} = -\frac{-\left(\frac{dw^*}{d\pi} - \frac{dr^*}{d\pi}\right)}{\left(\frac{dx^*}{d\pi} - \frac{dw^*}{d\pi}\right)\phi - \mu} = \frac{\frac{d(w^*-r^*)}{d\pi}}{\left(\frac{dx^*}{d\pi} - \frac{dw^*}{d\pi}\right)\phi - \mu} < 0. \tag{A3.16}$$

数学付録 4-1：(56) 式および (57) 式の計算

この付録では、第 4 章第 2 節の (56) 式および (57) 式に関し、計算の詳細を示す。

第 4 章の (52)(53) 式より、企業の利潤最大化問題 (51) 式の 1 階の条件は、以下のように求められた。

$$\frac{\partial \Pi^P}{\partial v} = \tau p_x v^{\tau-1} (r_D)^\rho - p_v = 0, \tag{A4.1}$$

$$\frac{\partial \Pi^P}{\partial r_D} = \rho p_x v^{\tau} (r_D)^{\rho-1} - p_r = 0. \tag{A4.2}$$

また、(50) 式で表された財の生産関数は、以下のように、コブ＝ダグラス型を仮定していた。

$$x_S = f(v, r_D) = v^\tau (r_D)^\rho . \tag{A4.3}$$

$$(0 < \tau < 1, \quad 0 < \rho < 1, \quad 0 < \tau + \rho < 1.)$$

ここで、(A4.1) 式および (A4.2) 式をバージン資源の購入量 v について解き、均衡におけるリサイクル資源の需要量 r_D^* を求めると、以下のように、(54) 式および (55) 式が得られた。

$$v = \left(\frac{\tau p_r}{\rho p_v}\right) r_D. \tag{A4.4}$$

$$r_D^* = \left[\left(\frac{p_v}{\tau p_x}\right)\left(\frac{\tau p_r}{\rho p_v}\right)^{1-\tau}\right]^{\frac{1}{\tau+\rho-1}}. \tag{A4.5}$$

(A4.1)(A4.3)(A4.4)(A4.5) 式を用いると、以下のように計算することができ、(56) 式が得られる。

$$
\begin{aligned}
x_S^* = (v^*)^\tau (r_D^*)^\rho = \left(\frac{p_v}{\tau p_x}\right) v^* = \left(\frac{p_v}{\tau p_x}\right)\left(\frac{\tau p_r}{\rho p_v}\right) r_D^* \\
= \left(\frac{p_v}{\tau p_x}\right)\left(\frac{\tau p_r}{\rho p_v}\right)\left[\left(\frac{p_v}{\tau p_x}\right)\left(\frac{\tau p_r}{\rho p_v}\right)^{1-\tau}\right]^{\frac{1}{\tau+\rho-1}} \\
= \left[\left(\frac{p_v}{\tau p_x}\right)^{\tau+\rho}\left(\frac{\tau p_r}{\rho p_v}\right)^{\rho}\right]^{\frac{1}{\tau+\rho-1}}.
\end{aligned}
\tag{A4.6}
$$

また、(A4.5) 式を (A4.4) 式に代入すると、以下のようになり、(57) 式が得られる。

$$
\begin{aligned}
v^* &= \left(\frac{\tau p_r}{\rho p_v}\right) r_D^* \\
&= \left(\frac{\tau p_r}{\rho p_v}\right)\cdot\left[\left(\frac{p_v}{\tau p_x}\right)\left(\frac{\tau p_r}{\rho p_v}\right)^{1-\tau}\right]^{\frac{1}{\tau+\rho-1}} \\
&= \left[\left(\frac{p_v}{\tau p_x}\right)\left(\frac{\tau p_r}{\rho p_v}\right)^{\rho}\right]^{\frac{1}{\tau+\rho-1}}.
\end{aligned}
\tag{A4.7}
$$

数学付録 4-2：ヤコビアンの計算

この付録では、第 4 章第 3 節の (62) 式で表されるヤコビアン J がマイナスの値をとることに関し、計算の詳細を示す。

$$
\begin{aligned}
J &= \begin{vmatrix} \frac{\partial F^1}{\partial p_x^*} & \frac{\partial F^1}{\partial p_w^*} & \frac{\partial F^1}{\partial p_r^*} \\ \frac{\partial F^2}{\partial p_x^*} & \frac{\partial F^2}{\partial p_w^*} & \frac{\partial F^2}{\partial p_r^*} \\ \frac{\partial F^3}{\partial p_x^*} & \frac{\partial F^3}{\partial p_w^*} & \frac{\partial F^3}{\partial p_r^*} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \ominus & \mathbf{0} & \oplus \\ \mathbf{0} & \ominus & \oplus \\ \oplus & \oplus & \ominus \end{vmatrix} \\
&= \begin{vmatrix} H\frac{\partial x_D^*}{\partial p_x^*} - M\frac{\partial x_S^*}{\partial p_x^*}_{\ominus} & 0 & -M\frac{\partial x_S^*}{\partial p_r^*}_{\oplus} \\ 0 & N\frac{\partial w_D^*}{\partial p_w^*} - H\frac{\partial w_S^*}{\partial p_w^*}_{\ominus} & N\frac{\partial w_D^*}{\partial p_r^*}_{\oplus} \\ M\frac{\partial r_D^*}{\partial p_x^*}_{\oplus} & -N\frac{\partial r_S^*}{\partial p_w^*}_{\oplus} & M\frac{\partial r_D^*}{\partial p_r^*} - N\frac{\partial r_S^*}{\partial p_r^*}_{\ominus} \end{vmatrix} \\
&= \begin{vmatrix} -H - \left(\frac{\tau+\rho}{1-\tau-\rho}\right) M\frac{x_S^*}{p_x}_{\ominus} & 0 & \left(\frac{\rho}{1-\tau-\rho}\right) M\frac{x_S^*}{p_r}_{\oplus} \\ 0 & -\left(\frac{1}{1-\varepsilon}\right) N\frac{w_D^*}{p_w+\psi} - \left(\frac{1}{\beta}\right) H_{\ominus} & \left(\frac{1}{1-\varepsilon}\right) N\frac{w_D^*}{p_r}_{\oplus} \\ \left(\frac{1}{1-\tau-\rho}\right) M\frac{r_D^*}{p_x}_{\oplus} & \left(\frac{\varepsilon}{1-\varepsilon}\right) N\frac{r_S^*}{p_w+\psi}_{\oplus} & -\left(\frac{1-\tau}{1-\tau-\rho}\right) M\frac{r_D^*}{p_r} - \left(\frac{\varepsilon}{1-\varepsilon}\right) N\frac{r_S^*}{p_r}_{\ominus} \end{vmatrix} \\
&= \left(H\frac{\partial x_D^*}{\partial p_x^*} - M\frac{\partial x_S^*}{\partial p_x^*}\right)_{\ominus} \begin{vmatrix} N\frac{\partial w_D^*}{\partial p_w^*} - H\frac{\partial w_S^*}{\partial p_w^*}_{\ominus} & N\frac{\partial w_D^*}{\partial p_r^*}_{\oplus} \\ -N\frac{\partial r_S^*}{\partial p_w^*}_{\oplus} & M\frac{\partial r_D^*}{\partial p_r^*} - N\frac{\partial r_S^*}{\partial p_r^*}_{\ominus} \end{vmatrix} \\
&\qquad + M\frac{\partial r_D^*}{\partial p_x^*}_{\oplus} \begin{vmatrix} 0 & -M\frac{\partial x_S^*}{\partial p_r^*}_{\oplus} \\ N\frac{\partial w_D^*}{\partial p_w^*} - H\frac{\partial w_S^*}{\partial p_w^*}_{\ominus} & N\frac{\partial w_D^*}{\partial p_r^*}_{\oplus} \end{vmatrix} \\
&= \left(H\frac{\partial x_D^*}{\partial p_x^*} - M\frac{\partial x_S^*}{\partial p_x^*}\right)_{\ominus} \cdot \left[\left(N\frac{\partial w_D^*}{\partial p_w^*} - H\frac{\partial w_S^*}{\partial p_w^*}\right)_{\ominus} \left(M\frac{\partial r_D^*}{\partial p_r^*}_{\ominus}\right) + \left(H\frac{\partial w_S^*}{\partial p_w^*} N\frac{\partial r_S^*}{\partial p_r^*}_{\oplus}\right)\right] \\
&\qquad - \left(M\frac{\partial r_D^*}{\partial p_x^*}_{\oplus}\right) \cdot \left(-M\frac{\partial x_S^*}{\partial p_r^*}_{\oplus}\right) \left(N\frac{\partial w_D^*}{\partial p_w^*} - H\frac{\partial w_S^*}{\partial p_w^*}\right)_{\ominus} \\
&= \left(H\frac{\partial x_D^*}{\partial p_x^*}_{\ominus}\right) \left(N\frac{\partial w_D^*}{\partial p_w^*} - H\frac{\partial w_S^*}{\partial p_w^*}\right)_{\ominus} \left(M\frac{\partial r_D^*}{\partial p_r^*}_{\ominus}\right) + \left(H\frac{\partial x_D^*}{\partial p_x^*} - M\frac{\partial x_S^*}{\partial p_x^*}\right)_{\ominus} \left(H\frac{\partial w_S^*}{\partial p_w^*} N\frac{\partial r_S^*}{\partial p_r^*}_{\oplus}\right) \\
&\quad + \left(N\frac{\partial w_D^*}{\partial p_w^*} - H\frac{\partial w_S^*}{\partial p_w^*}\right)_{\ominus} \cdot \left[-\left(M\frac{\partial r_D^*}{\partial p_x^*}_{\oplus}\right) \cdot \left(-M\frac{\partial x_S^*}{\partial p_r^*}_{\oplus}\right) + \left(-M\frac{\partial x_S^*}{\partial p_x^*}_{\ominus}\right) \left(M\frac{\partial r_D^*}{\partial p_r^*}_{\ominus}\right)\right].
\end{aligned}
\tag{B4.1}
$$

(B4.1) 式の第 1 項と第 2 項は、マイナスとなる。また、第 3 項も以下のようにマイナスとなることが示される。

(B4.1) 式の第 3 項：

$$
\begin{aligned}
&\underbrace{\left(N\frac{\partial w_D^*}{\partial p_w^*} - H\frac{\partial w_S^*}{\partial p_w^*}\right)}_{\ominus} \cdot \left[-\left(M\underbrace{\frac{\partial r_D^*}{\partial p_x^*}}_{\oplus}\right)\cdot\left(-M\underbrace{\frac{\partial x_S^*}{\partial p_r^*}}_{\oplus}\right) + \left(-M\underbrace{\frac{\partial x_S^*}{\partial p_x^*}}_{\ominus}\right)\left(M\underbrace{\frac{\partial r_D^*}{\partial p_r^*}}_{\ominus}\right)\right] \\
&= \underbrace{\left(N\frac{\partial w_D^*}{\partial p_w^*} - H\frac{\partial w_S^*}{\partial p_w^*}\right)}_{\ominus} \cdot \left[-\left(\frac{1}{1-\tau-\rho}\right)M\frac{r_D^*}{p_x}\cdot\left(\frac{\rho}{1-\tau-\rho}\right)M\frac{x_S^*}{p_r}\right. \\
&\qquad\qquad\qquad\qquad \left.+\left\{-\left(\frac{\tau+\rho}{1-\tau-\rho}\right)M\frac{x_S^*}{p_x}\right\}\left\{-\left(\frac{1-\tau}{1-\tau-\rho}\right)M\frac{r_D^*}{p_r}\right\}\right] \\
&= \underbrace{\left(N\frac{\partial w_D^*}{\partial p_w^*} - H\frac{\partial w_S^*}{\partial p_w^*}\right)}_{\ominus} \cdot M^2\frac{r_D^*}{p_x}\frac{x_S^*}{p_r}\cdot\underbrace{\left(\frac{\tau}{1-\tau-\rho}\right)}_{\oplus} < 0. \qquad \text{(B4.2)}
\end{aligned}
$$

$(\because 0<\tau<1,\ 0<\rho<1,\ 0<\tau+\rho<1.)$

(B4.1) 式および (B4.2) 式より、ヤコビアン J はマイナスとなり、(62) 式が示された。

数学付録 4-3：命題 6 の計算

この付録では、第 4 章第 3 節の命題 6 の証明に関し、計算の詳細を示す。

まず、第 4 章の (61) 式で表される比較静学方程式のもとで、財の購入に対する課税 $\mathbf{t}^{\mathbf{x}}$ 以外の外生変数をすべて固定し、クラメールの公式を適用すると、以下のようになり、(63) 式が得られる。

$$\frac{dp_x^*}{d\mathbf{t}^{\mathbf{x}}} = \frac{\begin{vmatrix} -\frac{\partial F^1}{\partial \mathbf{t}^{\mathbf{x}}}_{\oplus} & 0 & \frac{\partial F^1}{\partial p_r^*}_{\oplus} \\ 0 & \frac{\partial F^2}{\partial p_w^*}_{\ominus} & \frac{\partial F^2}{\partial p_r^*}_{\oplus} \\ 0 & \frac{\partial F^3}{\partial p_w^*}_{\oplus} & \frac{\partial F^3}{\partial p_r^*}_{\ominus} \end{vmatrix}}{|J|_{\ominus}} = \frac{-\left(\frac{\partial F^1}{\partial \mathbf{t}^{\mathbf{x}}}_{\ominus}\right)\cdot\left\{\left(\frac{\partial F^2}{\partial p_w^*}_{\ominus}\right)\cdot\frac{\partial Mr_D^*}{\partial p_r^*}_{\ominus} + \frac{\partial Hw_S^*}{\partial p_w^*}_{\oplus}\cdot\frac{\partial Nr_S^*}{\partial p_r^*}_{\oplus}\right\}}{|J|_{\ominus}} < 0, \tag{C4.1}$$

$$\frac{dp_r^*}{d\mathbf{t}^{\mathbf{x}}} = \frac{\begin{vmatrix} \frac{\partial F^1}{\partial p_x^*}_{\ominus} & 0 & -\frac{\partial F^1}{\partial \mathbf{t}^{\mathbf{x}}}_{\oplus} \\ 0 & \frac{\partial F^2}{\partial p_w^*}_{\ominus} & 0 \\ \frac{\partial F^3}{\partial p_x^*}_{\oplus} & \frac{\partial F^3}{\partial p_w^*}_{\oplus} & 0 \end{vmatrix}}{|J|_{\ominus}} = \frac{\left(\frac{\partial F^1}{\partial \mathbf{t}^{\mathbf{x}}}_{\ominus}\right)\cdot\left(\frac{\partial F^2}{\partial p_w^*}_{\ominus}\right)\cdot\left(\frac{\partial F^3}{\partial p_x^*}_{\oplus}\right)}{|J|_{\ominus}} < 0. \tag{C4.2}$$

次に、(57) 式と (55) 式より、以下の (C4.3)〜(C4.6) 式が得られ、(64) 式と (65) 式が示される。

$$\begin{aligned} \frac{\partial v^*}{\partial p_x} &= \left(\frac{1}{\tau+\rho-1}\right)\left[\left(\frac{p_v}{\tau p_x}\right)\left(\frac{\tau p_r}{\rho p_v}\right)^{\rho}\right]^{\frac{1}{\tau+\rho-1}-1}\cdot(-1)\left(\frac{p_v}{\tau}\right)\left(\frac{\tau p_r}{\rho p_v}\right)^{\rho}(p_x)^{-2} \\ &= \underline{\left(\frac{1}{1-\tau-\rho}\right)}_{\oplus}\cdot\frac{v^*}{p_x} > 0, \end{aligned} \tag{C4.3}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v^*}{\partial p_r} &= \left(\frac{1}{\tau+\rho-1}\right)\left[\left(\frac{p_v}{\tau p_x}\right)\left(\frac{\tau p_r}{\rho p_v}\right)^{\rho}\right]^{\frac{1}{\tau+\rho-1}-1}\cdot\rho\left(\frac{p_v}{\tau p_x}\right)\left(\frac{\tau}{\rho p_v}\right)^{\rho}\cdot(p_r)^{\rho-1} \\ &= \underline{\left(\frac{\rho}{\tau+\rho-1}\right)}_{\ominus}\cdot\frac{v^*}{p_r} < 0, \end{aligned} \tag{C4.4}$$

$$\frac{\partial r_D^*}{\partial p_x} = \left(\frac{1}{\tau+\rho-1}\right)\left[\left(\frac{p_v}{\tau p_x}\right)\left(\frac{\tau p_r}{\rho p_v}\right)^{1-\tau}\right]^{\frac{1}{\tau+\rho-1}-1} \cdot (-1)\left(\frac{p_v}{\tau}\right)\left(\frac{\tau p_r}{\rho p_v}\right)^{1-\tau} \cdot (p_x)^{-2}$$

$$= \underbrace{\left(\frac{1}{1-\tau-\rho}\right)}_{\oplus} \cdot \frac{r_D^*}{p_x} > 0, \tag{C4.5}$$

$$\frac{\partial r_D^*}{\partial p_r} = \left(\frac{1}{\tau+\rho-1}\right)\left[\left(\frac{p_v}{\tau p_x}\right)\left(\frac{\tau p_r}{\rho p_v}\right)^{1-\tau}\right]^{\frac{1}{\tau+\rho-1}-1} \cdot (1-\tau)\left(\frac{p_v}{\tau p_x}\right)\left(\frac{\tau}{\rho p_v}\right)^{1-\tau} \cdot (p_r)^{-\tau}$$

$$= \underbrace{\left(\frac{1-\tau}{\tau+\rho-1}\right)}_{\ominus} \cdot \frac{r_D^*}{p_r} < 0. \tag{C4.6}$$

$(\because 0<\tau<1,\ 0<\rho<1,\ 0<\tau+\rho<1.)$

続いて、(C4.1) 式と (C4.2) 式、および (C4.3) 式と (C4.4) 式を用いると、以下のようになり、(66) 式が求められる。

$$\frac{dv^*}{d\mathbf{t^x}} = \frac{\partial v^*}{\partial p_x}_{\oplus} \cdot \frac{dp_x^*}{d\mathbf{t^x}}_{\ominus} + \frac{\partial v^*}{\partial p_r}_{\ominus} \cdot \frac{dp_r^*}{d\mathbf{t^x}}_{\ominus} = \ldots$$

$$= \underbrace{\left(\frac{1}{1-\tau-\rho}\right)}_{\oplus} \cdot v^* \cdot \underbrace{\frac{-\left(\frac{\partial F^1}{\partial \mathbf{t^x}}_{\ominus}\right)\cdot\left(\frac{\partial F^2}{\partial p_w^*}_{\ominus}\right)}{|J|_{\ominus}}}_{\oplus} \cdot \underbrace{\underline{\left[\frac{1}{p_x}\left(\frac{\partial M r_D^*}{\partial p_r^*}_{\ominus}\right) + \frac{\rho}{p_r}\left(\frac{\partial F^3}{\partial p_x^*}_{\oplus}\right)\right]}}_{\ominus}$$

$$+ \underbrace{\left(\frac{1}{1-\tau-\rho}\right)}_{\oplus} \cdot \underbrace{\frac{-\left(\frac{\partial F^1}{\partial \mathbf{t^x}}_{\ominus}\right)\cdot\frac{\partial H w_S^*}{\partial p_w^*}_{\oplus}\cdot\frac{\partial N r_S^*}{\partial p_r^*}_{\oplus}}{|J|_{\ominus}}}_{\ominus} < 0. \tag{C4.7}$$

$$\left(\begin{array}{c} \because 0<\tau<1,\ 0<\rho<1,\ 0<\tau+\rho<1, \\ \underline{\underline{\left[\frac{1}{p_x}\left(\frac{\partial M r_D^*}{\partial p_r^*}_{\ominus}\right) + \frac{\rho}{p_r}\left(\frac{\partial F^3}{\partial p_x^*}_{\oplus}\right)\right]}} = \ldots = -M\frac{r_D^*}{p_x p_r} < 0. \end{array}\right)$$ [58]

[58] $\frac{\partial M r_D^*}{\partial p_r^*} = -\left(\frac{1-\tau}{1-\tau-\rho}\right) M \frac{r_D^*}{p_r}\ (<0)$, $\frac{\partial F^3}{\partial p_x^*} = \frac{\partial M r_D^*}{\partial p_x^*} = \left(\frac{1}{1-\tau-\rho}\right) M \frac{r_D^*}{p_x}\ (>0)$ より、(C4.7) 式の 2 重下線部分は、以下のようになる。

$$\left[\frac{1}{p_x}\left(\frac{\partial M r_D^*}{\partial p_r^*}_{\ominus}\right) + \frac{\rho}{p_r}\left(\frac{\partial F^3}{\partial p_x^*}_{\oplus}\right)\right] = \left[\frac{1}{p_x}\left\{-\left(\frac{1-\tau}{1-\tau-\rho}\right) M \frac{r_D^*}{p_r}\right\} + \frac{\rho}{p_r}\left\{\left(\frac{1}{1-\tau-\rho}\right) M \frac{r_D^*}{p_x}\right\}\right] = -M\frac{r_D^*}{p_x p_r} < 0.$$

同様に、(C4.1) 式と (C4.2) 式、および (C4.5) 式と (C4.6) 式を用いると、以下のようになり、(67) 式が求められる。

$$
\begin{aligned}
\frac{dr_D^*}{d\mathbf{t^x}} &= \frac{\partial r_D^*}{\partial p_x}_{\oplus} \cdot \frac{dp_x^*}{d\mathbf{t^x}}_{\ominus} + \frac{\partial r_D^*}{\partial p_r}_{\ominus} \cdot \frac{dp_r^*}{d\mathbf{t^x}}_{\ominus} = \ldots \\
&= \underline{\left(\frac{1}{1-\tau-\rho}\right)}_{\oplus} \cdot r_D^* \cdot \underline{\frac{-\left(\frac{\partial F^1}{\partial \mathbf{t^x}}_{\ominus}\right)\cdot\left(\frac{\partial F^2}{\partial p_w^*}_{\ominus}\right)}{|J|_{\ominus}}}_{\oplus} \cdot \underline{\underline{\left[\frac{1}{p_x}\left(\frac{\partial M r_D^*}{\partial p_r^*}_{\ominus}\right) + \frac{1-\tau}{p_r}\left(\frac{\partial F^3}{\partial p_x^*}_{\oplus}\right)\right]}}_{=0} \\
&\qquad + \underline{\left(\frac{1}{1-\tau-\rho}\right)}_{\oplus} \cdot \frac{r_D^*}{p_x} \cdot \underline{\frac{-\left(\frac{\partial F^1}{\partial \mathbf{t^x}}_{\ominus}\right)\cdot \frac{\partial Hw_S^*}{\partial p_w^*}_{\oplus} \cdot \frac{\partial Nr_S^*}{\partial p_r^*}_{\oplus}}{|J|_{\ominus}}}_{\ominus} \\
&= \underline{\left(\frac{1}{1-\tau-\rho}\right)}_{\oplus} \cdot \frac{r_D^*}{p_x} \cdot \underline{\frac{-\left(\frac{\partial F^1}{\partial \mathbf{t^x}}_{\ominus}\right)\cdot \frac{\partial Hw_S^*}{\partial p_w^*}_{\oplus} \cdot \frac{\partial Nr_S^*}{\partial p_r^*}_{\oplus}}{|J|_{\ominus}}}_{\ominus} < 0. \qquad \text{(C4.8)}
\end{aligned}
$$

$$
\left(\begin{array}{c} \because 0<\tau<1,\ 0<\rho<1,\ 0<\tau+\rho<1, \\ \underline{\underline{\left[\frac{1}{p_x}\left(\frac{\partial M r_D^*}{\partial p_r^*}_{\ominus}\right) + \frac{1-\tau}{p_r}\left(\frac{\partial F^3}{\partial p_x^*}_{\oplus}\right)\right]}} = \ldots = 0. \end{array} \right)^{59}
$$

[59] $\frac{\partial M r_D^*}{\partial p_r^*} = -\left(\frac{1-\tau}{1-\tau-\rho}\right) M \frac{r_D^*}{p_r}\ (<0)$, $\frac{\partial F^3}{\partial p_x^*} = \frac{\partial M r_D^*}{\partial p_x^*} = \left(\frac{1}{1-\tau-\rho}\right) M \frac{r_D^*}{p_x}\ (>0)$ より、(C4.8) 式の 2 重下線部分は、以下のようになる。

$\left[\frac{1}{p_x}\left(\frac{\partial M r_D^*}{\partial p_r^*}_{\ominus}\right) + \frac{1-\tau}{p_r}\left(\frac{\partial F^3}{\partial p_x^*}_{\oplus}\right)\right] = \left[\frac{1}{p_x}\left\{-\left(\frac{1-\tau}{1-\tau-\rho}\right) M \frac{r_D^*}{p_r}\right\} + \frac{1-\tau}{p_r}\left\{\left(\frac{1}{1-\tau-\rho}\right) M \frac{r_D^*}{p_x}\right\}\right] = 0.$

数学付録 4-4：命題 7 の計算

この付録では、第 4 章第 3 節の命題 7 の証明に関し、計算の詳細を示す。

まず、第 4 章の (61) 式で表される比較静学方程式のもとで、家計廃棄物の合法処理に対する補助金 $\mathbf{s^H}$ 以外の外生変数をすべて固定し、クラメールの公式を適用すると、以下のようになり、(68) 式が得られる。

$$\frac{dp_x^*}{d\mathbf{s^H}} = \frac{\begin{vmatrix} 0 & 0 & \frac{\partial F^1}{\partial p_r^*}_{\oplus} \\ -\frac{\partial F^2}{\partial \mathbf{s^H}}_{\oplus} & \frac{\partial F^2}{\partial p_w^*}_{\ominus} & \frac{\partial F^2}{\partial p_r^*}_{\oplus} \\ 0 & \frac{\partial F^3}{\partial p_w^*}_{\oplus} & \frac{\partial F^3}{\partial p_r^*}_{\ominus} \end{vmatrix}}{|J|_{\ominus}} = \frac{\left(-\frac{\partial F^2}{\partial \mathbf{s^H}}_{\oplus}\right)\cdot\left(\frac{\partial F^3}{\partial p_w^*}_{\oplus}\right)\cdot\left(\frac{\partial F^1}{\partial p_r^*}_{\oplus}\right)}{|J|_{\ominus}} < 0, \tag{D4.1}$$

$$\frac{dp_r^*}{d\mathbf{s^H}} = \frac{\begin{vmatrix} \frac{\partial F^1}{\partial p_x^*}_{\ominus} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial F^2}{\partial p_w^*}_{\ominus} & -\frac{\partial F^2}{\partial \mathbf{s^H}}_{\oplus} \\ \frac{\partial F^3}{\partial p_x^*}_{\oplus} & \frac{\partial F^3}{\partial p_w^*}_{\oplus} & 0 \end{vmatrix}}{|J|_{\ominus}} = \frac{-\left(-\frac{\partial F^2}{\partial \mathbf{s^H}}_{\oplus}\right)\cdot\left(\frac{\partial F^3}{\partial p_w^*}_{\oplus}\right)\cdot\left(\frac{\partial F^1}{\partial p_x^*}_{\ominus}\right)}{|J|_{\ominus}} < 0. \tag{D4.2}$$

続いて、(D4.1) 式と (D4.2) 式、および (C4.3) 式と (C4.4) 式を用いると、以下のようになる。

$$\begin{aligned}
\frac{dv^*}{d\mathbf{s^H}} &= \frac{\partial v^*}{\partial p_x}_{\oplus}\cdot\frac{dp_x^*}{d\mathbf{s^H}}_{\ominus} + \frac{\partial v^*}{\partial p_r}_{\ominus}\cdot\frac{dp_r^*}{d\mathbf{s^H}}_{\ominus} = \ldots \\
&= \underline{\left(\frac{1}{1-\tau-\rho}\right)}_{\oplus}\cdot\; \underline{v^*\cdot\frac{\left(-\frac{\partial F^2}{\partial \mathbf{s^H}}_{\oplus}\right)\cdot\left(\frac{\partial F^3}{\partial p_w^*}_{\oplus}\right)}{|J|_{\ominus}}}_{\ominus}\cdot\; \underline{\underline{\left[\frac{1}{p_x}\left(\frac{\partial F^1}{\partial p_r^*}_{\oplus}\right)+\frac{\rho}{p_r}\left(\frac{\partial F^1}{\partial p_x^*}_{\ominus}\right)\right]}} \\
&= \underline{\left(\frac{1}{1-\tau-\rho}\right)}_{\oplus}\cdot\; \underline{v^*\cdot\frac{\left(-\frac{\partial F^2}{\partial \mathbf{s^H}}_{\oplus}\right)\cdot\left(\frac{\partial F^3}{\partial p_w^*}_{\oplus}\right)}{|J|_{\ominus}}}_{\ominus}\cdot\; \underline{\underline{\frac{\rho}{p_r}\frac{H}{p_x}\cdot\left[\theta-2p_x-\mathbf{t^x}-\pi^{\mathbf{H}}\right]}}\;. \\
&\therefore \frac{dv^*}{d\mathbf{s^H}} \gtreqless 0 \quad if \quad p_x \gtreqless \frac{\theta-\mathbf{t^x}-\pi^{\mathbf{H}}}{2}.
\end{aligned} \tag{D4.3}$$

$$\left(\begin{array}{c} \because 0<\tau<1,\ 0<\rho<1,\ 0<\tau+\rho<1,\quad Mx_S^* = Hx_D^* = H\cdot\left(\theta - p_x - \mathbf{t^x} - \pi^{\mathbf{H}}\right), \\ \underline{\underline{\left[\frac{1}{p_x}\left(\frac{\partial F^1}{\partial p_r^*}_{\oplus}\right) + \frac{\rho}{p_r}\left(\frac{\partial F^1}{\partial p_x^*}_{\ominus}\right)\right]}} = \ldots = \frac{\rho}{p_r}\frac{H}{p_x}\cdot\left[\left(\theta - p_x - \mathbf{t^x} - \pi^{\mathbf{H}}\right) - p_x\right]. \end{array} \right)^{60}$$

また、財 x_D に関する需要の価格弾力性は、以下のように表すことができる。

$$\begin{aligned} \left|\frac{\partial x_D^*/\partial p_x}{x_D^*/p_x}\right| &= \left|\frac{-1}{\left(\theta - p_x - \mathbf{t^x} - \pi^{\mathbf{H}}\right)/p_x}\right| = \frac{p_x}{\left(\theta - p_x - \mathbf{t^x} - \pi^{\mathbf{H}}\right)} \gtreqless 1 \\ &if \quad p_x \gtreqless \frac{\theta - \mathbf{t^x} - \pi^{\mathbf{H}}}{2}. \end{aligned} \tag{D4.4}$$

ここで、(D4.3) 式と (D4.4) 式より、次の関係式が得られ、(69) 式が求められる。

$$\frac{dv^*}{d\mathbf{s^H}} \gtreqless 0 \quad if \quad \left|\frac{\partial x_D^*/\partial p_x}{x_D^*/p_x}\right| \gtreqless 1. \tag{D4.5}$$

また、(D4.1) 式と (D4.2) 式、および (C4.5) 式と (C4.6) 式を用いると、以下のようになり、(70) 式が求められる。

$$\begin{aligned} \frac{dr_D^*}{d\mathbf{s^H}} &= \frac{\partial r_D^*}{\partial p_x}_{\oplus} \cdot \frac{dp_x^*}{d\mathbf{s^H}}_{\ominus} + \frac{\partial r_D^*}{\partial p_r}_{\ominus} \cdot \frac{dp_r^*}{d\mathbf{s^H}}_{\ominus} = \ldots \\ &= \underline{\left(\frac{1}{1-\tau-\rho}\right)}_{\oplus} \cdot r_D^* \cdot \underline{\frac{\left(-\frac{\partial F^2}{\partial \mathbf{s^H}}_{\oplus}\right)\cdot\left(\frac{\partial F^3}{\partial p_w^*}_{\oplus}\right)}{|J|_{\ominus}}}_{\ominus} \cdot \underline{\underline{\left[\frac{1}{p_x}\left(\frac{\partial F^1}{\partial p_r^*}_{\oplus}\right) + \frac{1-\tau}{p_r}\left(\frac{\partial F^1}{\partial p_x^*}_{\ominus}\right)\right]}}_{\ominus} > 0. \end{aligned} \tag{D4.6}$$

$$\left(\begin{array}{c} \because 0<\tau<1,\ 0<\rho<1,\ 0<\tau+\rho<1, \\ \underline{\underline{\left[\frac{1}{p_x}\left(\frac{\partial F^1}{\partial p_r^*}_{\oplus}\right) + \frac{1-\tau}{p_r}\left(\frac{\partial F^1}{\partial p_x^*}_{\ominus}\right)\right]}} = \ldots = -\frac{1}{p_r}\left((1-\tau)H + \tau M\frac{x_S^*}{p_x}\right) < 0. \end{array} \right)^{61}$$

60 $\frac{\partial F^1}{\partial p_r^*} = -\frac{\partial M x_S^*}{\partial p_r^*} = \left(\frac{\rho}{1-\tau-\rho}\right)M\frac{x_S^*}{p_r}\ (>0)$, $\frac{\partial F^1}{\partial p_x^*} = \frac{\partial(Hx_D^* - Mx_S^*)}{\partial p_x^*} = -H - \left(\frac{\tau+\rho}{1-\tau-\rho}\right)M\frac{x_S^*}{p_x}\ (<0)$,
$Mx_S^* = Hx_D^* = H\cdot\left(\theta - p_x - \mathbf{t^x} - \pi^{\mathbf{H}}\right)$ より、(D4.3) 式の 2 重下線部分は、以下のようになる。
$\left[\frac{1}{p_x}\left(\frac{\partial F^1}{\partial p_r^*}_{\oplus}\right) + \frac{\rho}{p_r}\left(\frac{\partial F^1}{\partial p_x^*}_{\ominus}\right)\right] = \left[\frac{1}{p_x}\left\{\left(\frac{\rho}{1-\tau-\rho}\right)M\frac{x_S^*}{p_r}\right\} + \frac{\rho}{p_r}\left\{-H - \left(\frac{\tau+\rho}{1-\tau-\rho}\right)M\frac{x_S^*}{p_x}\right\}\right] = \ldots$
$= \frac{\rho}{p_r}\frac{H}{p_x}\cdot\left[\left(\theta - p_x - \mathbf{t^x} - \pi^{\mathbf{H}}\right) - p_x\right]. \quad \therefore \left[\frac{1}{p_x}\left(\frac{\partial F^1}{\partial p_r^*}_{\oplus}\right) + \frac{\rho}{p_r}\left(\frac{\partial F^1}{\partial p_x^*}_{\ominus}\right)\right] \lesseqgtr 0 \quad if \quad p_x \gtreqless \frac{\theta - \mathbf{t^x} - \pi^{\mathbf{H}}}{2}$.

61 $\frac{\partial F^1}{\partial p_r^*} = \left(\frac{\rho}{1-\tau-\rho}\right)M\frac{x_S^*}{p_r}\ (>0)$, $\frac{\partial F^1}{\partial p_x^*} = -H - \left(\frac{\tau+\rho}{1-\tau-\rho}\right)M\frac{x_S^*}{p_x}\ (<0)$ （脚注 60 参照）より、(D4.6) 式の 2 重下線部分は、以下のようになる。
$\left[\frac{1}{p_x}\left(\frac{\partial F^1}{\partial p_r^*}_{\oplus}\right) + \frac{1-\tau}{p_r}\left(\frac{\partial F^1}{\partial p_x^*}_{\ominus}\right)\right] = \left[\frac{1}{p_x}\left\{\left(\frac{\rho}{1-\tau-\rho}\right)M\frac{x_S^*}{p_r}\right\} + \frac{1-\tau}{p_r}\left\{-H - \left(\frac{\tau+\rho}{1-\tau-\rho}\right)M\frac{x_S^*}{p_x}\right\}\right]$
$= -\frac{1}{p_r}\left((1-\tau)H + \tau M\frac{x_S^*}{p_x}\right) < 0.$

数学付録 5-1：(77)〜(80) 式の計算

この付録では、第 5 章第 3 節の (77)〜(80) 式に関し、計算の詳細を示す。

まず、第 5 章第 2 節の (75) 式、および (76) 式より、均衡における中古品輸出量 $\mathbf{EX}^*$、および均衡におけるリサイクル残余物の輸出量 $\mathbf{RW}^*$ は、それぞれ以下のように導出された。

$$\mathbf{EX}^* = w_S^* - \; w_D^* = \frac{\left(p_w^d + \mathbf{s^d}\right) + \mathbf{s^H} + \pi^{\mathbf{H}}}{\beta} - \left(\frac{\left(p_w^d + \mathbf{s^d}\right) + \psi}{\varepsilon\left(p_r^r - \mathbf{t^r}\right)}\right)^{\frac{1}{\varepsilon-1}}. \tag{A5.1}$$

$$\mathbf{RW}^* = r_S^* - \; r_D^* = \left(\frac{\left(p_w^d + \mathbf{s^d}\right) + \psi}{\varepsilon\left(p_r^r - \mathbf{t^r}\right)}\right)^{\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}} - \left[\left(\frac{p_v}{\tau p_x}\right)\left(\frac{\tau\left(p_r^r - \mathbf{t^r}\right)}{\rho p_v}\right)^{1-\tau}\right]^{\frac{1}{\tau+\rho-1}}. \tag{A5.2}$$

ここで、(A5.1) 式を、使用済み財への補助金 $\mathbf{s^d}$、およびリサイクル資源への課税 $\mathbf{t^r}$ で偏微分することにより、以下のようになり、(77) 式および (78) 式の結果が得られる。

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \mathbf{EX}^*}{\partial \mathbf{s^d}} &= \left(\frac{1}{\beta}\right) - \left(\frac{1}{\varepsilon-1}\right)\cdot\left(\frac{\left(p_w^d + \mathbf{s^d}\right) + \psi}{\varepsilon\left(p_r^r - \mathbf{t^r}\right)}\right)^{\frac{1}{\varepsilon-1}-1}\cdot\left(\frac{1}{\varepsilon\left(p_r^r - \mathbf{t^r}\right)}\right) \\
&= \left(\frac{1}{\beta}\right) - \underbrace{\left(\frac{1}{\varepsilon-1}\right)}_{\ominus}\cdot\frac{w_D^*}{\left(p_w^d + \mathbf{s^d}\right) + \psi} > 0.
\end{aligned} \tag{A5.3}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \mathbf{EX}^*}{\partial \mathbf{t^r}} &= -\left(\frac{1}{\varepsilon-1}\right)\cdot\left(\frac{\left(p_w^d + \mathbf{s^d}\right) + \psi}{\varepsilon\left(p_r^r - \mathbf{t^r}\right)}\right)^{\frac{1}{\varepsilon-1}-1}\cdot\left(\frac{\left(p_w^d + \mathbf{s^d}\right) + \psi}{\varepsilon}\right)\left(p_r^r - \mathbf{t^r}\right)^{-2} \\
&= -\underbrace{\left(\frac{1}{\varepsilon-1}\right)}_{\ominus}\cdot\frac{w_D^*}{\left(p_r^r - \mathbf{t^r}\right)} > 0.
\end{aligned} \tag{A5.4}$$

$$\left(\because \beta > 0,\quad 0 < \varepsilon < 1,\quad w_D^* = \left(\frac{\left(p_w^d + \mathbf{s^d}\right) + \psi}{\varepsilon\left(p_r^r - \mathbf{t^r}\right)}\right)^{\frac{1}{\varepsilon-1}}.\right)$$

同様に、(A5.2) 式を、使用済み財への補助金 $\mathbf{s^d}$、およびリサイクル資源への課税 $\mathbf{t^r}$ で偏微分することにより、以下のようになり、(79) 式および (80) 式の結果が得られる。

$$
\begin{aligned}
\frac{\partial \mathbf{RW}^*}{\partial \mathbf{s^d}} &= \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}\right)\cdot\left(\frac{\left(p_w^d+\mathbf{s^d}\right)+\psi}{\varepsilon\left(p_r^r-\mathbf{t^r}\right)}\right)^{\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}-1}\cdot\left(\frac{1}{\varepsilon\left(p_r^r-\mathbf{t^r}\right)}\right)\\
&= \underline{\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}\right)}_{\ominus}\cdot\frac{r_S^*}{\left(p_w^d+\mathbf{s^d}\right)+\psi}<0.
\end{aligned}
\tag{A5.5}
$$

$$
\begin{aligned}
\frac{\partial \mathbf{RW}^*}{\partial \mathbf{t^r}} = &\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}\right)\cdot\left(\frac{\left(p_w^d+\mathbf{s^d}\right)+\psi}{\varepsilon\left(p_r^r-\mathbf{t^r}\right)}\right)^{\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}-1}\cdot\left(\frac{\varepsilon\left\{\left(p_w^d+\mathbf{s^d}\right)+\psi\right\}}{\varepsilon^2\left(p_r^r-\mathbf{t^r}\right)^2}\right)\\
&-\left(\frac{1}{\tau+\rho-1}\right)\cdot\left[\left(\frac{p_v}{\tau p_x}\right)\left(\frac{\tau\left(p_r^r-\mathbf{t^r}\right)}{\rho p_v}\right)^{1-\tau}\right]^{\frac{1}{\tau+\rho-1}-1}\\
&\qquad\cdot\ (1-\tau)\left(\frac{p_v}{\tau p_x}\right)\left(\frac{\tau\left(p_r^r-\mathbf{t^r}\right)}{\rho p_v}\right)^{-\tau}\cdot\left(-\frac{\tau}{\rho p_v}\right)\\
= &\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}\right)\cdot\left(\frac{\left(p_w^d+\mathbf{s^d}\right)+\psi}{\varepsilon\left(p_r^r-\mathbf{t^r}\right)}\right)^{\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}}\cdot\left(\frac{1}{p_r^r-\mathbf{t^r}}\right)\\
&+\left(\frac{1-\tau}{\tau+\rho-1}\right)\cdot\left[\left(\frac{p_v}{\tau p_x}\right)\left(\frac{\tau\left(p_r^r-\mathbf{t^r}\right)}{\rho p_v}\right)^{1-\tau}\right]^{\frac{1}{\tau+\rho-1}}\cdot\left(\frac{1}{p_r^r-\mathbf{t^r}}\right)\\
= &\underline{\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}\right)}_{\ominus}\cdot\frac{r_S^*}{\left(p_r^r-\mathbf{t^r}\right)}+\underline{\left(\frac{1-\tau}{\tau+\rho-1}\right)}_{\ominus}\cdot\frac{r_D^*}{\left(p_r^r-\mathbf{t^r}\right)}<0.
\end{aligned}
\tag{A5.6}
$$

$$
\left(\begin{array}{c}
\because 0<\varepsilon<1,\quad 0<\tau<1,\quad 0<\rho<1,\quad 0<\tau+\rho<1,\\
r_S^*=\left(\frac{\left(p_w^d+\mathbf{s^d}\right)+\psi}{\varepsilon\left(p_r^r-\mathbf{t^r}\right)}\right)^{\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}},\quad r_D^*=\left[\left(\frac{p_v}{\tau p_x}\right)\left(\frac{\tau\left(p_r^r-\mathbf{t^r}\right)}{\rho p_v}\right)^{1-\tau}\right]^{\frac{1}{\tau+\rho-1}}.
\end{array}\right)
$$

数学付録 5-2：(81) 式および (82) 式の計算

この付録では、第 5 章第 4 節の (81) 式、および (82) 式に関し、計算の詳細を示す。

まず、付録 5-1 の (A5.3) 式と (A5.4) 式に関し、絶対値の差を求めると、以下のようになる。

$$\begin{aligned}
&\left|\frac{\partial \mathbf{EX}^*}{\partial \mathbf{s^d}}_{\oplus}\right| - \left|\frac{\partial \mathbf{EX}^*}{\partial \mathbf{t^r}}_{\oplus}\right| \\
&= \left|\left(\frac{1}{\beta}\right) - \left(\frac{1}{\varepsilon-1}\right)\cdot\frac{w_D^*}{(p_w^d+\mathbf{s^d})+\psi}\right| - \left|-\left(\frac{1}{\varepsilon-1}\right)\cdot\frac{w_D^*}{(p_r^r-\mathbf{t^r})}\right| \\
&= \left[\left(\frac{1}{\beta}\right) - \left(\frac{1}{\varepsilon-1}\right)\cdot\frac{w_D^*}{K^w}\right] - \left[-\left(\frac{1}{\varepsilon-1}\right)\cdot\frac{w_D^*}{K^r}\right] \\
&= \left(\frac{1}{\beta}\right) + \underline{\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}\right)}_{\ominus}\cdot\frac{w_D^*}{K^wK^r}\left(K^w-K^r\right).
\end{aligned} \tag{B5.1}$$

$$\left(\begin{array}{c}\because \beta>0,\quad 0<\varepsilon<1,\quad w_D^*=\left(\frac{\left(p_w^d+\mathbf{s^d}\right)+\psi}{\varepsilon(p_r^r-\mathbf{t^r})}\right)^{\frac{1}{\varepsilon-1}}, \\ K^w=\left(p_w^d+\mathbf{s^d}\right)+\psi,\quad K^r=\left(p_r^r-\mathbf{t^r}\right).\end{array}\right)$$

(B5.1) 式より、$K^w \leq K^r$ ならば、常に、$\left|\frac{\partial \mathbf{EX}^*}{\partial \mathbf{s^d}}\right| > \left|\frac{\partial \mathbf{EX}^*}{\partial \mathbf{t^r}}\right|$ が成立する。このことを式で表すと、(B5.2) 式のようになり、(81) 式が示された。

$$\left|\frac{\partial \mathbf{EX}^*}{\partial \mathbf{s^d}}\right| > \left|\frac{\partial \mathbf{EX}^*}{\partial \mathbf{t^r}}\right| \qquad if \quad K^w \leq K^r. \tag{B5.2}$$

次に、付録 5-1 の (A5.5) 式と (A5.6) 式に関し、絶対値の差を求めると、以下のようになる。

$$
\begin{aligned}
&\left|\underbrace{\frac{\partial \mathbf{RW}^*}{\partial \mathbf{s^d}}}_{\ominus}\right| - \left|\underbrace{\frac{\partial \mathbf{RW}^*}{\partial \mathbf{t^r}}}_{\ominus}\right| \\
&= \left| \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1}\right) \cdot \frac{r_S^*}{(p_w^d + \mathbf{s^d}) + \psi} \right| - \left| \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1}\right) \cdot \frac{r_S^*}{(p_r^r - \mathbf{t^r})} + \left(\frac{1-\tau}{\tau + \rho - 1}\right) \cdot \frac{r_D^*}{(p_r^r - \mathbf{t^r})} \right| \\
&= \left[-\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1}\right) \cdot \frac{r_S^*}{K^w} \right] - \left[-\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1}\right) \cdot \frac{r_S^*}{K^r} - \left(\frac{1-\tau}{\tau + \rho - 1}\right) \cdot \frac{r_D^*}{K^r} \right] \\
&= \underbrace{\left(\frac{1-\tau}{\tau + \rho - 1}\right)}_{\ominus} \cdot \frac{r_D^*}{K^r} + \underbrace{\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1}\right)}_{\ominus} \cdot \frac{r_S^*}{K^w K^r} \left(K^w - K^r\right). \qquad \text{(B5.3)}
\end{aligned}
$$

$$
\left(
\begin{array}{c}
\because 0 < \tau < 1, \quad 0 < \rho < 1, \quad 0 < \tau + \rho < 1, \quad 0 < \varepsilon < 1, \\
r_D^* = \left[\left(\frac{p_v}{\tau p_x}\right) \left(\frac{\tau (p_r^r - \mathbf{t^r})}{\rho p_v}\right)^{1-\tau} \right]^{\frac{1}{\tau + \rho - 1}}, \quad r_S^* = \left(\frac{\left(p_w^d + \mathbf{s^d}\right) + \psi}{\varepsilon (p_r^r - \mathbf{t^r})} \right)^{\frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1}}, \\
K^w = \left(p_w^d + \mathbf{s^d}\right) + \psi, \quad K^r = \left(p_r^r - \mathbf{t^r}\right).
\end{array}
\right)
$$

(B5.3) 式より、$K^w \geq K^r$ ならば、常に、$\left|\frac{\partial \mathbf{RW}^*}{\partial \mathbf{s^d}}\right| < \left|\frac{\partial \mathbf{RW}^*}{\partial \mathbf{t^r}}\right|$ が成立する。このことを式で表すと、(B5.4) 式のようになり、(82) 式が示された。

$$
\left|\frac{\partial \mathbf{RW}^*}{\partial \mathbf{s^d}}\right| < \left|\frac{\partial \mathbf{RW}^*}{\partial \mathbf{t^r}}\right| \qquad if \quad K^w \geq K^r. \qquad \text{(B5.4)}
$$

数学付録 5-3：命題 8 および命題 9 の計算

この付録では、第 5 章第 5 節の命題 8、および命題 9 に関し、計算の詳細を示す。

まず、命題 8 に関し、(83) 式の導出過程を示す。

付録 5-1 の (A5.3) 式および (A5.4) 式より、以下の式が得られる。

$$
\begin{aligned}
&\left(\frac{\partial \mathbf{EX}^*}{\partial \mathbf{s^d}}\right)_{\oplus} + \left(-\frac{\partial \mathbf{EX}^*}{\partial \mathbf{t^r}}\right)_{\ominus} \\
&= \left[\left(\frac{1}{\beta}\right) - \left(\frac{1}{\varepsilon - 1}\right)\cdot\frac{w_D^*}{(p_w^d + \mathbf{s^d}) + \psi}\right] + \left[\left(\frac{1}{\varepsilon - 1}\right)\cdot\frac{w_D^*}{(p_r^r - \mathbf{t^r})}\right] \\
&= \left[\left(\frac{1}{\beta}\right) - \left(\frac{1}{\varepsilon - 1}\right)\cdot\frac{w_D^*}{K^w}\right] + \left[\left(\frac{1}{\varepsilon - 1}\right)\cdot\frac{w_D^*}{K^r}\right] \\
&= \left(\frac{1}{\beta}\right) + \underline{\left(\frac{1}{\varepsilon - 1}\right)}_{\ominus}\cdot\frac{w_D^*}{K^w K^r}\left(K^w - K^r\right).
\end{aligned}
\tag{C5.1}
$$

$$
\left(\begin{array}{c}
\because \beta > 0, \quad 0 < \varepsilon < 1, \quad w_D^* = \left(\frac{\left(p_w^d + \mathbf{s^d}\right) + \psi}{\varepsilon\left(p_r^r - \mathbf{t^r}\right)}\right)^{\frac{1}{\varepsilon - 1}}, \\
K^w = \left(p_w^d + \mathbf{s^d}\right) + \psi, \quad K^r = \left(p_r^r - \mathbf{t^r}\right)..
\end{array}\right)
$$

ここで、$K^w \leq K^r$ ならば、(C5.1) 式は、常にプラスの値をとる。このことを式で表すと、(C5.2) 式のようになり、(83) 式が示された。

$$
\left(\frac{\partial \mathbf{EX}^*}{\partial \mathbf{s^d}}\right)_{\oplus} + \left(-\frac{\partial \mathbf{EX}^*}{\partial \mathbf{t^r}}\right)_{\ominus} > 0 \qquad if \qquad K^w \leq K^r. \tag{C5.2}
$$

次に、命題 9 に関し、(84) 式の導出過程を示す。

付録 5-1 の (A5.5) 式および (A5.6) 式より、以下の式が得られる。

$$
\begin{aligned}
&\left(-\frac{\partial \mathbf{RW}^*}{\partial \mathbf{s^d}}\right)_{\oplus} + \left(\frac{\partial \mathbf{RW}^*}{\partial \mathbf{t^r}}\right)_{\ominus} \\
&= \left[-\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}\right)\cdot\frac{r_S^*}{(p_w^d+\mathbf{s^d})+\psi}\right] + \left[\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}\right)\cdot\frac{r_S^*}{(p_r^r-\mathbf{t^r})} + \left(\frac{1-\tau}{\tau+\rho-1}\right)\cdot\frac{r_D^*}{(p_r^r-\mathbf{t^r})}\right] \\
&= \left[-\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}\right)\cdot\frac{r_S^*}{K^w}\right] + \left[\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}\right)\cdot\frac{r_S^*}{K^r} + \left(\frac{1-\tau}{\tau+\rho-1}\right)\cdot\frac{r_D^*}{K^r}\right] \\
&= \underline{\left(\frac{1-\tau}{\tau+\rho-1}\right)}_{\ominus}\cdot\frac{r_D^*}{K^r} + \underline{\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}\right)}_{\ominus}\cdot\frac{r_S^*}{K^wK^r}\left(K^w-K^r\right). \qquad \text{(C5.3)}
\end{aligned}
$$

$$
\left(\begin{array}{c}
\because 0<\tau<1,\quad 0<\rho<1,\quad 0<\tau+\rho<1,\quad 0<\varepsilon<1, \\
r_D^* = \left[\left(\frac{p_v}{\tau p_x}\right)\left(\frac{\tau(p_r^r-\mathbf{t^r})}{\rho p_v}\right)^{1-\tau}\right]^{\frac{1}{\tau+\rho-1}},\quad r_S^* = \left(\frac{\left(p_w^d+\mathbf{s^d}\right)+\psi}{\varepsilon(p_r^r-\mathbf{t^r})}\right)^{\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}}, \\
K^w = \left(p_w^d+\mathbf{s^d}\right)+\psi,\quad K^r = \left(p_r^r-\mathbf{t^r}\right).
\end{array}\right)
$$

ここで、$K^w \geq K^r$ ならば、(C5.3) 式は、常にマイナスの値をとる。このことを式で表すと、(C5.4) 式のようになり、(84) 式が示された。

$$
\left(-\frac{\partial \mathbf{RW}^*}{\partial \mathbf{s^d}}\right)_{\oplus} + \left(\frac{\partial \mathbf{RW}^*}{\partial \mathbf{t^r}}\right)_{\ominus} < 0 \quad if \quad K^w \geq K^r. \qquad \text{(C5.4)}
$$