

## 論文

# リサイクル経済の発展要因分析

## — 鉄スクラップリサイクルのパネルデータ分析 —

橋 徹\*

## はじめに

近年、持続可能な消費と生産という問題意識のもと、資源やエネルギーの有効活用、適正な廃棄物管理などの面から、先進各国で循環型社会形成に向けた取組が進められている。一方、途上国では相対的に工業製品やその素材等の希少性が高いため、リユースやリサイクルへの需要が旺盛である。ただし、都市貧困層等のインフォーマルセクターが担い手であり、不十分な技術や装備による健康被害や環境汚染が生じている。今後、持続的な経済的発展が期待される途上国において、こうした課題を克服しながら、適正な循環型社会の形成を図ることが求められている。

先進国と途上国の比較から、リサイクルの質や量は経済発展ともに変化していることが想定される。そうした変化を決定する社会経済要因を把握することは、途上国における循環型社会形成の方策を検討する上で必要であろう。

以上のような問題認識のもと、本稿では、鉄スクラップリサイクルを取り上げ、各国の鉄スクラップ国内回収量の決定要因を明らかにすることを目的としてパネルデータ分析を行った。

鉄スクラップの供給力を高める要因、需要拡大を促進する要因に区分し、それぞれの主たる要因を抽出し政策的含意を導くものである。また分析においては、高所得国、低・中所得国、高炉のある国、高炉のない国に区分してそれぞれの要因の特質の把握を行った。分析の結果、低・中所得国では鉄スクラップ需要に比して国内でのスクラップ発生量が少ないために輸入依存型のリサイクルとなり、高所得国は、国内から発生する豊富なスクラップに対してリサイクル需要が足りず、余剰が低・中所得国へ輸出されるという概ねの構造を確認することができた。

第1節では、鉄スクラップリサイクルの要因分析に関する予備的考察として、鉄スクラップリサイクルの基本的なプロセスの把握や先行研究レビューを行い、第2節では、第1節の予備的考察に基づき、鉄スクラップリサイクルの決定要因に関する仮説を構築した。第3節では、仮説の検証として、各国の鉄スクラップ回収量データを整備しパネルデータ分析を実施した。第4節では、分析結果を踏まえた考察と政策的含意を導き出し、結語で結論と今後の研究課題を整理している。

---

\*早稲田大学大学院社会科学研究所 研究生

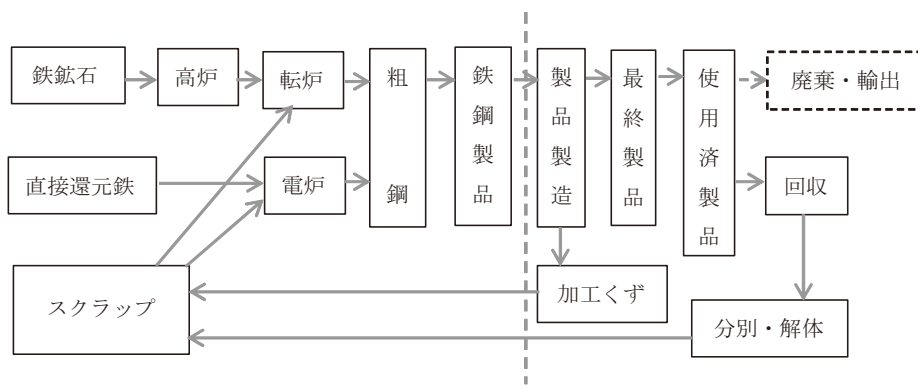
## 1. 鉄スクラップリサイクルの要因分析 に関する予備的考察

### 1-1. 鉄スクラップリサイクルのプロセス

鉄スクラップのリサイクルプロセスを把握するために、まず、鉄鋼製造プロセス全体を概観する（図表1）。鉄の原料は鉄鉱石であり酸化鉄として自然に存在する。従って、製鉄ではこの酸化鉄から酸素を分離する、つまり還元を行うプロセスが必要となる。還元のために石炭からコークスをつくり、コークスと酸化鉄を高炉に投入して高温で反応させることで銑鉄が製造される。この銑鉄を転炉に移し、転炉内で酸素と反応させることで、銑鉄中に含有されていた炭素や不純物の含有量を調整して粗鋼ができる。そしてこの粗鋼から、連続铸造や圧延といった工程を経て、様々な鉄鋼製品が製造される。これが基本的な製造プロセスであるが、一方で、鉄スクラップを原料として、製鉄を行う方式がある。市中あるいは生産プロセスから回収された鉄スクラップが原料の場合には、還元のプロセスは必要ない。電気炉で融解させて粗鋼を製造する。粗鋼製造後のプロセスは、高炉

と同様である。また、原料となる酸化鉄の還元において、コークスを使う高炉方式ではなく、主として天然ガスを用いて還元を行う「直接還元方式」という生産方式がある。この方式でできた鉄を直接還元鉄と称する。高炉のように大規模なプラントは必要ではなく、コークスも不要なので、天然ガスを産出する発展途上国において導入が進められてきた方式である。直接還元鉄を電気炉で融解させて粗鋼を製造する。粗鋼製造後のプロセスは、高炉と同様である。

次に、使用済み製品や生産プロセスから排出された廃棄物から鉄スクラップを回収するプロセスを概観する。鉄スクラップは、家庭から使用済み製品として排出された家電製品、パソコン、携帯電話、自動車などから回収されるものと、様々な製品製造過程において発生する廃棄物から回収するものに大別できる。そして、回収→分別・解体・加工処理→製鋼メーカーへ納入といったプロセスを経る。回収のシステムは、国によって様々である。例えば、わが国では、拡大生産者責任（Extended Producer Responsibility: EPR）に基づいた家電リサイクル法によって、リサイクルの義務は家電の製造



図表1 鉄スクラップの循環構造

事業者が負う。また、廃家電の回収と家電メーカーへの引渡しは、家電の小売事業者が負う。廃家電を引き取った家電メーカーは適切に分別や解体、加工処理を行う義務がある。我が国の場合、複数の家電メーカーが、分別・解体・加工処理を行うためのリサイクル企業を設立し、リサイクルの効率化が図られている。先進国を中心にこのEPRを基本としたリサイクル制度の整備が進められており、細かな点では異なるものの、基本的には製造事業者がリサイクル義務を負うこととなっている<sup>(1)</sup>。

一方、途上国ではこうした制度化は進んでおらず、循環資源のインフォーマルな市場の中で鉄スクラップも流通している場合が多い。例えば、ウェストピッカー<sup>(2)</sup>が各家庭に赴き廃家電等の回収（買取）を行い、回収したものを仲買人に引渡し、仲買人は再資源化事業者に販売する。再資源化事業者とは、分別・解体・加工等を行う事業者であるが、途上国では非常に零細で、不十分な技術や装備、環境保全対策等のために、健康被害や環境汚染が生じている[Puckett, J. & T. Smith 2002]。最後に再資源化事業者で抽出された鉄スクラップなどの循環資源は、製鋼メーカー等の素材企業に納入される。製鋼メーカーは主に電炉メーカーであるが、鉄スクラップは転炉での粗鋼製造にも混入させるため、一部は高炉メーカーへの納入となる。

### 1-2. 鉄スクラップの市場特性

鉄スクラップの市場特性を、富高 [2013] や渡邊 [2010] の成果を踏まえて、供給、需要、価格といった視点から以下のように整理した。

#### (1) 供給

鉄スクラップは、工業製品の生産工程からの発生品であり、かつ使用済み自動車や廃家電製品などの「解体・老廃」品として発生するものである。したがって、鉄スクラップの発生量は鉄鋼の蓄積量と強い相関があることが知られている。鉄鋼の蓄積量とは、これまで生産された鉄鋼の現時点での蓄積量を意味する。経験的には蓄積量の2%程度が年あたりの鉄スクラップ発生量とされているが、実際の発生量は景気動向によって大きく左右される。例えば、不況による製品の生産量の減少は、工場から発生する加工スクラップの減少をもたらす。新規建設案件の減少は建築物解体からの発生量の減少をもたらす。さらに、消費者の製品買い替え需要の減少により、使用済み製品由来の発生量も減少する。このように、工業製品の増産、建築物の建て替え需要、商品の買い替え需要といった要因を経て景気の影響を受けるため、発生量は景気動向に連行する傾向がある。

#### (2) 需要

鉄スクラップは、本来は廃棄物であり、鉄鋼や電炉メーカー等の需要があって初めて商品価値が生じる。したがって、直接的な需要は鉄鋼産業によるが、間接的には鉄鋼を素材として含有する財の需要動向にも左右される。例えば自動車、家電製品、建設、機械等の生産投資動向に影響を受ける。

また、鉄スクラップリサイクルのプロセスでも見たように、鉄スクラップを主たる原料として粗鋼生産を行うのは電炉メーカーである。したがって、基本的には電炉の立地が多い国では、鉄スクラップの需要も大きいと言える。鉄

スクラップを原料とした製鋼の場合、様々な鉄鋼製品のスクラップの混合物であるため、含有される微量元素の制御に限界が生じる。したがって、一般に電炉では高級品質を要求されない建材類の生産が中心となる。ただし近年では、電炉による製鋼技術の進歩により、薄板などの高品質の製品や特殊鋼などの生産を行っている例もある。

ところで、高炉方式の製鉄所は大量生産を行う大規模プラントであり、その建設と運用には膨大な資金を必要とする。一方で電炉の製鉄所は高炉よりも低コストで整備できるため、経済発展の初期段階では電炉による製鉄が先行すると考えられる。したがって、こうした国では鉄スクラップ需要は大きい。また、先進国においても、電炉の割合が大きい国では鉄スクラップ需要は大きい。さらに、高炉が主力である国においても、高炉による製鉄では一定割合の鉄スクラップを原料とすることから、一定程度の鉄スクラップ需要がある。鉄スクラップの需要は大きいですが、鉄鋼蓄積量が少ない国では、鉄スクラップを輸入することになる。逆に、鉄スクラップの需要は大きいですが、鉄鋼蓄積量も相当な規模に達している国では、鉄スクラップを輸出することになる。菅 [2002] の分析によれば、例えば日本のように国内で高炉メーカーと電炉メーカーの価格競争がある場合には、結果的に電炉メーカーのシェアが伸びず、鉄スクラップが進まず、余剰となった鉄スクラップは輸出されることになるという。

### (3) 価格

鉄スクラップ価格は基本的にはその需給ギャップによって決定されるが、為替や天然資

源である鉄鉱石の価格動向、投入するエネルギー価格にも影響を受けると言われている。また、発生品であるため供給弾力性に乏しく、結果的に需要の動向に敏感に反応する相場商品である。例えば日本では、1990年代初頭の需要低迷によって価格低下が続き、廃自動車は有価ではなく、逆に処理料を徴収しないと引き取れない「逆有償」という事態に陥った。そしてこの当時は廃棄物の不法投棄も増加した。

鉄スクラップの価格は需要に敏感なため、景気の先行指標として認識されている。しかし、先述のように発生量は景気動向に運行するため、結果的に価格の乱高下が生じることになる。また従来、鉄スクラップは国内の鉄鋼需要が相場の大きな決定要因であったが、現在では国際商品化したことで、輸出価格も相場の大きな決定要因となっている。

### 1-3. 先行研究

鉄スクラップのリサイクル決定要因について理論的あるいは実証的な分析を行った先行研究は見いだせなかった。一方で、鉄スクラップ流通の全体構造やその動向を整理した研究がある。渡邊 [2010] は、日本の鉄スクラップ流通構造、供給要因としての鉄鋼蓄積量の動向、需給バランス、価格決定要因等について、統計データや業界での経験値にもとづいた整理を行っている。富高 [2013] は、業界での歴史的な事実に基づいて、日本における鉄スクラップ流通構造の変遷を詳細に分析している。また、菅 [2002] は、鉄スクラップの流通構造を踏まえ、高炉メーカー製品と電炉メーカー製品との価格競争下で、鉄スクラップ価格が低下するケースを想定したシミュレーションを行っている。こ

の研究では、鉄スクラップ価格の低下が、電炉比率の上昇、家計消費や資本形成の価格低下、CO<sub>2</sub>排出量の減少といった結果をもたらすことを導いている。

さらに関連する研究として、家庭におけるリサイクル活動の決定要因に関する先行研究がある。Duggal et al [1991], Reschovsky and Stone [1994], Jenkins [1999] は、各世帯で実施したリサイクル量のデータを被説明変数とし、社会経済要因及び政策要因を説明変数とした回帰分析により、世帯のリサイクル活動の決定要因の抽出を行っている。いずれも対象物は、家庭から排出される廃棄物のリサイクルで、アメリカの世帯がサンプリングの対象となっている。各分析結果によれば、所得水準、人口密度、教育の程度等が各世帯のリサイクル量に影響を与える重要な社会経済要因であることを導出している。特に、教育の程度は、多くの対象物共通に見出された要因である。

また、Beukering and Bouman [2001] は、古紙と廃鉛を対象に、一国全体の回収率と資源としての利用率を推計し、その決定要因に関する分析を行っている。決定要因は、貿易条件、地理的条件、市場条件といったカテゴリーで詳細な要因を設定し、回収率や利用率との回帰分析を行っている。この研究では途上国と先進国に分け、経済発展段階の違いによる決定要因の変化についても分析を行っている。そして分析結果を踏まえて、リサイクルに大きな影響を与える要因は国によって、かつ対象物によって様々であることから、リサイクルに関する目標や政策は、国際的に統一された目標や制度を整備するのではなく、基本的には各国が独自に検討すべきであるとしている。また、一般に開放経済

は循環資源の高いレベルの回収率と利用率をもたらすことから、貿易の円滑化が重要であり、その一方で環境汚染輸出リスクを回避する必要があるとしている。また、環境汚染輸出リスクのために、すべての循環資源貿易を禁止するよりも各国での適正な対処や技術移転が重要であると結論づけている。

鉄スクラップリサイクルの決定要因を直接に分析したに先行研究は見いだせなかったが、関連する研究として、以上のような先行研究を参考として分析枠組みを検討することとした。特にBeukering and Bouman [2001] は、国単位でのリサイクルの決定要因について実証分析を行っていることから、ここで取り上げられた決定要因を鉄スクラップの決定要因の分析対象として適用し、また鉄スクラップの流通構造を踏まえた上でこれらに追加すべき決定要因の検討を行った。

## 2. 鉄スクラップリサイクルの決定要因に関する分析枠組み

本節では、前節での予備的な考察を踏まえ、鉄スクラップリサイクルの決定要因に関する分析枠組みの整理を行った。ここでは、Beukering and Bouman [2001] が取り上げたりサイクル決定要因を中心に鉄スクラップへの適用を検討する。この研究では、先述のように古紙と廃鉛の回収率と利用率の推計値を被説明変数とし、各国の貿易条件、地理的条件、市場条件に関する要因を説明変数とした回帰分析を行っている。貿易条件としては、貿易全般への依存度とリサイクル資源の輸入依存度、エネルギー資源輸入依存度を取り上げ、地理的条件について



は、人口密度、天然資源賦存量、市場条件は、製造業賃金、一人当たりの消費の伸び、リサイクル資源と天然資源の価格比を上げている。本稿ではこれらの要因を鉄スクラップの供給要因と需要要因とに再編し、それぞれの要因の仮説と鉄スクラップへの適用可能性について以下のように整理した。

### (1) 供給要因

貿易開放度とリサイクル資源の国内回収率は正の相関があるとしている。貿易開放度の高い経済においては、リサイクル産業が材料の調達や製品の販売をしやすくなる。リサイクル市場が余剰市場であるという特質から需給ギャップ変動が大きくなることを踏まえると、調達・販売ルートにおけるフレキシビリティは非常に重要になる。したがって、貿易開放度の高い国は、リサイクル資源について輸出入や国内の回収量も多くなると想定している。また、開放経済は一般によくインフラが整備されているため、リサイクル産業にとってポジティブな効果をもたらすとしている。鉄スクラップについても同様の仮説を適用することができると考えられる。

人口密度は、リサイクル資源の国内回収率と正の相関があるとしている。人口密度の高い地域は地価が高いため、埋立処分場のコストが高くなる。したがってリサイクルが促進される。また高い人口密度は、回収効率を高めるため回収率も高くなる。鉄スクラップについても基本的にはあてはまる仮説であると考えられる。しかし、人口増加の速度が鉄鋼蓄積からのスクラップ発生速度よりも大きくうまわる場合には、一人あたり回収量は減少することもありうる。

製造業賃金については、コスト要因と所得要因があるとしている。リサイクルと産業のコスト要因としての製造業賃金は負の相関があるとしている。例えばリサイクルは労働集約的であるため、低賃金である経済ではリサイクル産業に比較優位が生じ、回収率も高くなる。また、リサイクルと所得要因としての製造業賃金水準は正の相関があるとしている。所得増加とともに廃棄物発生量は増加し、廃棄物発生量が多くなるほど、リサイクル資源の回収が効率的になるためである。一方で低所得国では、工業製品や材料の希少性が高いため、製品の価値が最小になるまで利用あるいは再利用される傾向にある。結果的にリサイクル資源としての回収率も低くなる。また、所得水準が高くなると環境意識も高まり、循環資源の回収率も高まるとしている。さらに、コスト要因と所得要因との比較では、リサイクルの総コストに占める労働コストが相対的に小さいことから、リサイクルに関して正の所得効果が、高い賃金によるマイナス効果を凌駕するとしている。鉄スクラップについても基本的には同様の仮説があてはまると考えられる。しかし、鉄スクラップの場合は有価での取引、つまり経済的動機によるリサイクルといった面が強いため、環境意識の高まりと回収率との相関は強くないと考えられる。

鉄スクラップが廃棄物からの発生品であることから、鉄鋼の蓄積量と鉄スクラップの回収率には強い相関があるとされている〔渡邊2010〕。

教育水準もリサイクル資源の回収率と正の相関をもつと考えられる。これは、関連研究として参照した家庭におけるリサイクル活動の決定要因分析から、「教育水準」が重要な要因とし

て抽出されていたことをふまえた仮説である。鉄スクラップの場合にも、高い教育水準が回収率を高めると考えられる。しかし、鉄スクラップは、有価での取引、つまり経済的動機によるリサイクルであることから、その相関は強くないと考えられる。

## (2) 需要要因

鉄鋼産業が鉄スクラップの直接的な需要者であることから、鉄鋼産業の成長と鉄スクラップの回収率とは正の相関があると考えられる。また、製造業の成長率と鉄スクラップの回収率にも正の相関があると考えられる。これは、鉄スクラップの需要特性の整理から導かれた仮説である。しかし、鉄鋼生産の成長の際に、高炉生産割合が大きい場合には、鉄スクラップが代替されて回収量は減少することもありうる。また製造業の成長率が高いと、鉄スクラップの需要も高まるのが主な理由であるが、リサイクル産業の能力拡大の遅延によって、さほど回収率は高まらない。つまり相関はあまり強くはないと考えられる。

一人当たりの消費の伸びについては、国内回収率と負の相関があるとしている。消費市場が急激に成長する場合には、リサイクル資源よりも品質が高く調達が容易な天然資源利用への選好が高まるとしている。何故なら、リサイクル産業が相対的に小規模であるため、急激な市場成長に応じて機敏にその産業能力を拡大することができないからである。また、廃棄物関連施設の立地選定や建設に時間コストを要することも、産業能力の拡大が遅延する大きな要因としている。鉄スクラップの場合にも、基本的には同様の仮説があてはまると考えられる。つま

り、消費市場の成長率が高まると、鉄鋼生産需要が高まるものの、高品質への選好やリサイクル産業の生産能力拡大が遅延することから、高炉による製品利用への選好が高まると考えられる。また、鉄スクラップの供給特性から、消費市場の成長率の高い国では、消費から排出される鉄スクラップが増加するが、上述のようなリサイクル産業の生産能力拡大が遅延する場合には、回収率はあまり上昇しないと考えられる。

リサイクル資源の輸入依存度については、リサイクル資源の輸入増加は、国内のリサイクル資源の補完というよりも代替になるとしている。したがって、リサイクル資源の輸入依存度は国内回収量と負の相関をもつとしている。鉄スクラップについても基本的には同様の仮説を適用することができるが、国内で高炉による製鉄や直接還元鉄の生産が多い国では、鉄スクラップ輸入も国内回収量も少ない場合があると考えられる。

天然資源の賦存量はリサイクル資源の国内回収率とは負の相関があるとしている。一般に天然資源を豊富に有している場合、その資源の二次利用の必要性は低い。鉄スクラップについても、この要因はあてはまると考えられる。つまり、鉄鉱石の生産が豊富な国においては、鉄スクラップの利用は少ない。しかし、高炉での生産には一定程度の鉄スクラップの投入を必要とするため、高炉による生産規模が大きいほど、鉄スクラップの国内回収率も増加する可能性がある。

エネルギー資源輸入依存度については、リサイクル資源の国内回収率と正の相関があるとしている。一般にパーজন原料を使う素材産業は、リサイクル資源を原料とするリサイクル産業よりもエネルギー多消費型である。よって、

エネルギー資源輸入に依存する国ほど、より省エネ型の国内リサイクル産業が発達し、国内回収率も増加するとしている。鉄スクラップについても、高炉による生産は電炉による生産よりもエネルギー多消費型である〔渡邊 2010〕。したがって、この仮説は鉄スクラップにもあてはまると考えられる。

リサイクル資源／天然資源の価格比とリサイクル資源の国内回収率は負の相関があるとしている。天然資源の価格が高くなると、リサイクル資源の利用割合が増えるためであるとしている。ただし、この比率と回収率の関係は、回収が直接には天然資源の価格変化とは関係しないので、それほど強くないとしている。鉄スクラップの場合も同様の仮説があてはまると考えられる。

以上の検討を踏まえて、鉄スクラップのリサイクルの決定要因に関する仮説を供給要因と需要要因という視点で図表2のように整理した。

なお、リサイクル資源／天然資源の価格比については、各国の価格データの入手の困難性から、今回の分析対象からは除外した。

また、図表2を作業仮説として、高所得国と低・中所得国における決定要因の差異に関して以下のような仮説を設定した。

(仮説1) 低・中所得国では、工業製品や素材の希少性が高いため、鉄スクラップの国内供給力が小さく、需要を満たすために輸入に依存する。高所得国では、供給力過剰となり、鉄スクラップの輸出国となる。

(仮説2) 高所得国では、工業の成長や消費拡大によって、高品質な製品や素材への選好が強まるため、鉄スクラップの需要は減少する。低・中所得国では、工業の成長や消費拡大によるそうした選好の影響は弱いため、鉄スクラップの需要は増加する。

(仮説3) 高所得国では、リサイクル制度や高い教育水準による環境意識の高まりなどが、リ

図表2 鉄スクラップ回収量の決定要因仮説

	鉄スクラップ回収量の決定要因	説明変数
供給面	貿易開放度 (+)	貿易開放度 (%、貿易総額/GDP)
	都市部への人口集積度 (+)	都市人口率 (%、都市部人口/全人口)
	製造業賃金水準 (コスト要因: -) (所得要因: +)	製造業付加価値/人口 (ドル)
	鉄鋼の蓄積量 (+)	総固定資本形成の累計値/人口 (Constant 2005 US \$/人)
	教育水準 (+)	高等教育就学率 (%)
需要面	鉄鋼産業成長 (+)	粗鋼生産量 (千トン/年)
	製造業成長 (-)	製造業付加価値増加率 (%)
	鉄スクラップ輸入依存度 (-)	輸入スクラップ依存度 (%、輸入スクラップ量/粗鋼生産量)
	天然資源賦存量 (-)	鉄鉱石産出量 (千トン/年)
	消費拡大 (-)	一人あたりGDP成長率 (%)
	エネルギー資源輸入依存度 (+)	エネルギー輸入依存度 (%、エネルギー輸入総額/GDP)
	リサイクル資源／天然資源の価格比	価格データの利用可能性から、分析対象からは除外した。

※ (+) 正の相関、(-) 負の相関



サイクルを促進する要因となる。低・中所得国では、政策や環境意識の要因ではなく、経済発展に伴う直接的な需要が大きな要因である。

### 3. パネルデータ分析

2.で整理した鉄スクラップリサイクルの決定要因仮説について、実証分析を行った。

#### 3-1. 推定式

各国の鉄スクラップ国内回収量 (kg/人) を被説明変数とし、図表2で整理した説明変数を用いて回帰分析を行った。

ところで、鉄スクラップ市場は、鉄の需給の調整弁としての機能を有していることから景気の影響を受けやすい。つまり時間的な変動が大きく、また、国によって製鉄技術やリサイクル制度などの違いによっても、鉄スクラップの回収量は影響を受けるであろう。こうした特性より本稿では、鉄スクラップ回収量に関して国別かつ暦年別のデータを作成しパネルデータ分析を行った。パネルデータ分析は、個体固有の要因と、時間固有な要因をコントロールしながら、共通の要因について実証を行う分析手法である。また、各変数はゼロという値を取りうること、説明変数は量だけでなく、割合、成長率等の単位の変数を多数含むことから、以下の線形式モデルによる定式化を行った。

$$Y_{it} = a + \beta_1 X1_{it} + \beta_2 X2_{it} + \dots \\ \mu_i + v_t + \varepsilon_{it} \text{ ————— (1)}$$

$X1_{it}$ ,  $X2_{it}$ , …は、説明変数。

$i$ : 国,  $t$ : 時間,  $a$ : 定数項,  $\beta$ : 回帰係数,

$\mu_i$ : 国の特性に依存する固有效果,

$v_t$ : 時間 (年) に依存する効果,

$\varepsilon_{it}$ : 誤差項

#### 3-2. データ

##### (1) データ作成

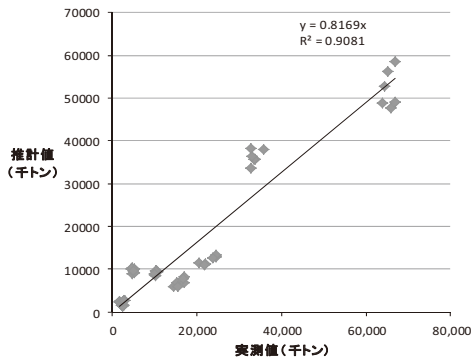
各国の鉄スクラップ国内回収量 (kg/人) を被説明変数とした。しかし、各国の鉄スクラップ回収量データについては、まとまった統計データとしては整備されていない。そこで、World Steel AssociationのSteel Statistical Yearbookに収録されているデータを利用して、各国の鉄スクラップ国内回収量を推計した。推計にあたっては、1.で概観した製鉄プロセスを踏まえ、以下のような推計式を用いた。

$$\text{鉄スクラップ回収量}^{(3)(4)(5)} = \\ \text{粗鋼生産量} - \text{銑鉄生産量 (正味)} - \text{直接還元鉄} \\ \text{(正味)} - (\text{輸入 scrap} - \text{輸出 scrap}) \\ \text{————— (2)}$$

データ推計期間は1973から2010年とし、説明変数は、仮説にしたがって図表2のように整理した。説明変数の中で、粗鋼生産量と鉄鉱石生産量は、World Steel AssociationのSteel Statistical Yearbookに収録されているデータである。それら以外は全て、World Bank Databook 2013のデータである。

##### (2) 被説明変数推計値の実測値との適合度

式(2)により推計した、各国の鉄スクラップ回収量の妥当性を分析するために、実測値との推計値との相関分析を行った。分析対象は、国内の鉄スクラップ回収量実測データ<sup>(6)</sup>が整備されているドイツ、スペイン、フランス、イ



図表3 推計値と実測値との相関

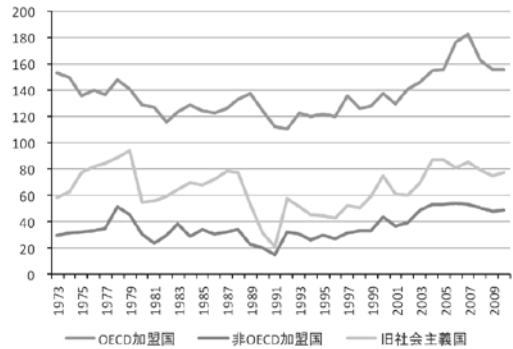
タリア、オーストリア、スウェーデン、イギリス、日本、アメリカとし、対象期間は2003年～2008年である。分析結果を図表3に示す。R<sup>2</sup>がおよそ0.9と非常に高い相関を示しており、推計値は実測値の傾向を示す変数として妥当であると言える。

### (3) 被説明変数の基本的統計量

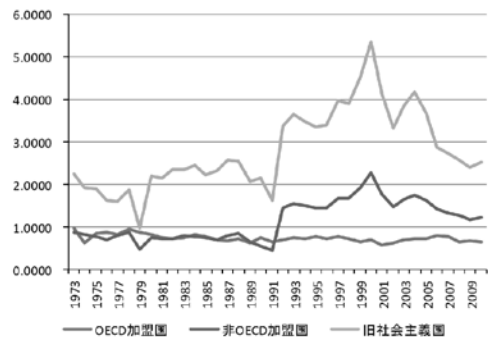
被説明変数である鉄スクラップ国内回収量データの基本的統計量は以下のとおりである。

対象国数	91
対象期間	1973-2010 (38年間)
対象データ数	2,649
平均	76.719
中央値	41.291
最大値	506.319
最小値	0
標準偏差	83.583

推計した各国の鉄スクラップ国内回収量について、国のカテゴリー別に集計し平均した結果を図表4～5に示す。図表4は一人あたり鉄スクラップの回収量 (kg/人) を縦軸に、横軸は暦年とした。OECD諸国の回収量が圧倒的に多く、どの国も90年代以降に増加傾向を示している。図表5はGDPあたり鉄スクラップの回



図表4 一人あたり鉄スクラップ回収量 (kg/人)



図表5 GDPあたり鉄スクラップ回収量 (kg)

回収量 (kg) を縦軸とした。旧社会主義国の経済活動において鉄スクラップの寄与が相対的に大きいことがわかる。OECD諸国では、経済活動における鉄スクラップの寄与は相対的に小さく、観測期間を通じてほとんど変化がない。非OECD諸国では、90年代以降に経済活動における鉄スクラップの寄与水準が上昇した。

### 3-3. 推定結果

パネルデータ分析では、個体効果  $\mu_i$  を確率変数として扱うか (確率効果モデル)、非確率変数として扱うか (固定効果モデル)、選択する必要がある。ハウスマン検定の結果、本稿では、固定効果モデルを用いることとした。

回帰分析は、91カ国全体、高所得国 (41カ

国)、低・中所得国(50カ国)といった所得水準別<sup>(7)</sup>、高炉のある国(43カ国)、高炉のない国(48カ国)といった製鉄技術別のカテゴリー分けをして実施した。また、多重共線性の可能性を見極めるためにVIF(Variance Information Factor:分散拡大要因)のチェックを行った結果、その可能性は低いと判断した。

### (1) 全体の推定結果

91カ国を対象とした推定結果を図表6の「全体」に示す。まず、供給面では、「都市部への

人口集積度」「教育水準」が強い相関を有する。「教育水準」については、鉄スクラップは経済合理的な動機によるリサイクルであることから、相関は弱いと想定していた。教育水準が高ければ環境意識が高いと一概には言えないが、分別回収などのリサイクル制度への理解と参加率が高まる可能性が考えられる。図表6「高所得国」でも「教育水準」が強い正の相関を持っていることから、こうした効果が高所得国を中心に顕在化し、回収効率を高める要因となっていると考えられる。ついで供給力に正の影響を

図表6 所得水準別推計結果

説明変数	全体		高所得国		低・中所得国	
	係数	VIF	係数	VIF	係数	VIF
貿易開放度(%)	-0.004178 (-0.80123)	1.27	-0.060 (-0.40349)	1.58	0.129 (***) (2.8040)	1.58
都市人口率(%)	0.56490 (**) (2.40863)	1.57	1.52618 (*) (-1.70334)	1.27	-0.28187 (*) (-1.7049)	1.63
賃金 (コスト要因及び所得要因)	0.0249 (***) (7.76452)	3.85	0.010924 (***) (5.29871)	2.51	0.02921 (***) (5.1777)	1.8
鉄鋼の蓄積量 (総固定資本形成/人, US\$ /人)	0.000158 (***) (3.47544)	4.99	0.000128 (***) (3.97399)	4.18	0.000646 (**) (2.2805)	2.09
製造業成長 (製造業付加価値増加率, %)	-0.031969 (-0.27425)	1.13	-0.054 (-0.21066)	1.69	0.095 (0.74434)	1.09
消費拡大 (一人あたりGDP成長率, %)	0.250 (***) (5.25235)	1.13	-0.545 (-1.143)	1.9	0.131 (*) (1.74309)	1.16
教育(高等教育就学率, %)	0.548 (***) (4.66297)	2.41	0.560 (***) (3.63793)	2.03	0.073 (0.67775)	1.63
鉄鋼産業成長 (粗鋼生産量, 千トン)	-0.000025 (-0.78466)	1.72	0.002649 (***) (3.70847)	1.85	-1.62E-05 (-1.20529)	2.6
鉄スクラップ輸入依存度 (輸入スクラップ量/粗鋼生産量, %)	-0.005249 (***) (-5.2699)	1.27	-0.004951 (**) (-2.56534)	1.39	-0.002596 (***) (-3.75239)	1.25
天然資源賦存量 (鉄鉱石産出量, 千トン)	-2.74E-05 (-0.62896)	1.77	1.09E-04 (1.13851)	1.27	-3.23E-05 (**) (-2.10237)	3
エネルギー資源輸入依存度 (エネルギー輸入総額/GDP, %)	0.033094 (**) (2.19999)	1.27	0.03860 (**) (2.13304)	1.45	-0.03614 (*) (-1.79293)	1.14
定数項	-26.15649 (*) (-1.91873)		-95.4033 (*) (-1.73898)		16.58435 (*) (1.93463)	
自由度調整済み決定係数(R <sup>2</sup> )	0.900		0.85145		0.88017	
観測国数	51		25		26	
観測期間	1973-2009 (37年)		1973-2009 (37年)		1973-2009 (37年)	
観測データ数	1,138		562		576	

各係数の下段に示す( )内の値はt値

各係数の右に示す記号は、\*が10%、\*\*が5%、\*\*\*は1%の有意水準であることを示す。

与えるのは「製造業の賃金水準」「鉄鋼の蓄積量」である。「賃金水準」にはコスト要因と所得要因があるが、符号が正であることから、仮説のとおり、所得要因がコスト要因を凌駕していると考えられる。

需要面では、「消費拡大」が正の相関を有する。「消費拡大」の仮説では、消費が拡大すると高品質への選好が高まること、リサイクル産業の能力拡大が運行することなどから、負の相関を想定していた。しかし現実には、鉄リサイクル産業は消費拡大に伴う鉄スクラップ増加への対応

能力があるものと考えられる。ついで需要に正の影響を与えるのは「エネルギー資源輸入依存度」である。つまり、鉄鋼産業や製造業の成長よりも電炉の立地が需要要因として説明力がある。また「鉄スクラップ輸入依存度」は、仮説のとおり負の相関を示しているが、需要への影響は相対的に小さい。これは鉄スクラップと代替性があるのが輸入スクラップだけでなく、直接還元鉄や高炉での製鉄製品もあるためである。

以下、図表6の所得水準別の推計結果に加えて、図表7に製鉄技術別の推定結果を示す。こ

図表7 製鉄技術別推計結果

説明変数	全体		高炉のある国		高炉のない国	
	係数	VIF	係数	VIF	係数	VIF
貿易開放度 (%)	-0.004178 (-0.80123)	1.27	-0.008 (-0.06138)	1.37	0.118 (***) (2.9617)	1.76
都市人口率 (%)	0.56490 (**) (2.40863)	1.57	1.40202 (***) (5.38715)	1.64	-0.53516 (***) (-3.16252)	1.57
賃金 (コスト要因及び所得要因)	0.0249 (***) (7.76452)	3.85	0.031431 (***) (18.32192)	4.54	0.00304 (1.27867)	3.95
鉄鋼の蓄積量 (総固定資本形成/人, US\$ /人)	0.000158 (***) (3.47544)	4.99	0.000135 (**) (2.32097)	4.82	0.000307 (***) (4.63521)	9.58
製造業成長 (製造業付加価値増加倍率, %)	-0.031969 (-0.27425)	1.13	-0.058 (-0.4012)	1.41	-0.004 (-0.36132)	1.11
消費拡大 (一人あたりGDP成長率, %)	0.250 (***) (5.25235)	1.13	0.615 (1.47587)	1.56	0.107 (***) (3.00433)	1.12
教育 (高等教育就学率, %)	0.548 (***) (4.66297)	2.41	0.612 (***) (4.18755)	2.36	0.081 (1.12634)	3.18
鉄鋼産業成長 (粗鋼生産量, 千トン)	-0.000025 (-0.78466)	1.72	-9.21E-05 (***) (-4.87548)	1.7	0.003606 (*) (1.7480)	1.93
鉄スクラップ輸入依存度 (輸入スクラップ量/粗鋼生産量, %)	-0.005249 (***) (-5.2699)	1.27	-0.0145 (***) (-7.27897)	1.26	-0.001558 (**) (-2.01795)	1.81
天然資源賦存量 (鉄鉱石産出量, 千トン)	-2.74E-05 (-0.62896)	1.77	-5.31E-05 (-1.0707)	1.96	1.74E-03 (*) (1.93216)	2.25
エネルギー資源輸入依存度 (エネルギー輸入総額/GDP, %)	0.033094 (**) (2.19999)	1.27	0.09160 (**) (2.18824)	1.42	0.03260 (1.473404)	3.4
定数項	-26.15649 (*) (-1.91873)		-85.6535 (***) (-5.74051)		45.45702 (***) (4.30487)	
自由度調整済み決定係数 (R <sup>2</sup> )		0.900		0.90035		0.91793
観測国数		51		36		15
観測期間		1973-2009 (37年)		1973-2009 (37年)		1973-2009 (37年)
観測データ数		1,138		775		363

各係数の下段に示す ( ) 内の値はt値  
各係数の右に示す記号は、\*が10%、\*\*は5%、\*\*\*は1%の有意水準であることを示す。

これらの結果より、各要因について以下のような考察を行った。

## (2) 供給要因別の分析

### ①貿易開放度

低・中所得国と高炉のない国において「貿易開放度」と鉄スクラップ回収量に強い正の相関がある。これは、これらの国で「貿易開放度」が高い場合には、工業発展によって鉄スクラップ需要が高まり、鉄スクラップ輸入も国内回収も活発になるためであると考えられる。低・中所得国の多くは電炉が立地しており、国内回収の鉄スクラップだけでは需要を満たさないために海外から輸入している国が多いと考えられる。

### ②都市部への人口集積度

高所得国と高炉のある国では「都市部への人口集積度」と鉄スクラップ回収量に正の相関があり、低・中所得国と高炉のない国では負の相関がある。前者は仮説と整合的である。後者は、人口増加速度が鉄鋼蓄積からのスクラップの発生速度を大きく上回ったことで、一人あたり回収量が減少したものと考えられる。

### ③製造業の賃金水準

高所得国、低・中所得国、高炉のある国で「製造業の賃金水準」と鉄スクラップ回収量に正の相関がある。符号が正であることから、仮説のとおり、所得要因がコスト要因を凌駕していると考えられる。

### ④鉄鋼の蓄積量

すべてのカテゴリーにおいて「鉄鋼の蓄積量」と鉄スクラップ回収量に正の相関がある。これは仮説と整合的である。その回帰係数を見ると、高所得国と高炉のある国の方が、低・中所得国と高炉のない国よりもはるかに大きな値

を示している。これは、低・中所得国や高炉のない国の鉄鋼蓄積量が、高所得国や高炉のある国に比して少ないことを反映しているものと考えられる。

### ⑤教育水準

高所得国と高炉のある国において、「教育水準」と鉄スクラップ回収量に強い正の相関がある。「教育水準」については、鉄スクラップは経済合理的な動機によるリサイクルであることから、相関は弱いと想定していた。教育水準が高ければ環境意識が高いと一概には言えないが、分別回収などのリサイクル制度への理解と参加率が高まる可能性が考えられる。高所得国や高炉のある国では、品質の高い鉄鋼製品の大規模な生産を行うため回収システムの効率化が強く求められる。そうした効率向上において、分別回収などへの参加率が高いのは、教育水準の高さに由来する部分もあるものと考えられる。

## (3) 需要要因別の分析

### ①鉄鋼業の成長

高所得国、高炉のない国において、「鉄鋼業の成長」と鉄スクラップ回収量に正の相関がある。これらの国は仮説と整合的である。高炉のある国では、回収量と負の相関がある。これは高炉製品との競合により回収が進まないものと考えられる。

### ②製造業の成長

「製造業の成長」は、どのカテゴリーでも統計的な有意性を得られなかった。鉄スクラップの需要要因としては説明力が弱いことが確認できた。

### ③消費拡大

低・中所得国と高炉のない国で「消費拡大」



と鉄スクラップ回収量に正の相関がある。「消費拡大」の仮説では、消費が拡大すると高品質への選好が高まること、リサイクル産業の能力拡大が運行することなどから、負の相関を想定していた。しかし現実には、正の相関があることから、電炉の立地が先行する低・中所得国や高炉のない国において、消費の伸びに機敏に対応できる鉄リサイクル産業の存在が想定できる。

#### ④鉄スクラップ輸入依存度

「鉄スクラップ輸入依存度」は、全てのカテゴリーで鉄スクラップ回収量と負の相関がある。つまり仮説と整合的であるが、回収量への影響は相対的に小さい。これは鉄スクラップと代替性があるのが輸入スクラップだけでなく、直接還元鉄や高炉での製鉄製品もあるためである。

#### ⑤天然資源賦存量

低・中所得国で「天然資源賦存量」と鉄スクラップ回収量に負の相関があり、高炉のない国で正の相関がある。「天然資源賦存量」として鉄鉱石産出量を指標とした。低・中所得国では仮説と整合的であるが、高炉のない国は整合的でない。高炉のない国で鉄鉱石が豊富な国は、鉄鉱石を輸出して国内では鉄スクラップを原料とした製鉄が行われていると考えられる。鉄鉱石の輸出が増加して、国内の経済が成長すれば結果的に鉄スクラップ需要も増加するという状況が考えられる。

#### ⑥エネルギー資源輸入依存度

高所得国、高炉のある国で「エネルギー資源輸入依存度」と鉄スクラップ回収量に正の相関があり、低・中所得国では負の相関がある。高所得国と高炉のある国は仮説と整合的だが、低・中所得国では整合的ではない。高所得国や高炉のある国は大規模な製鉄を行っている場合

が多く、省エネへの選好は高いと考えられる。結果的に電炉での生産が高まり、鉄スクラップ回収量も増加する。低・中所得国で「エネルギー資源輸入依存度」の高い国では、エネルギー資源の輸入が多くなるということは経済活動が活発になることを示し、経済成長に伴い鉄スクラップの需要も急増するが、供給が追いつかないために輸入スクラップや高炉製品への選好が高まる。結果的に回収量は減少するものと考えられる。

## 4. 政策的含意

以上の結果を踏まえて、供給力要因、需要拡大要因といった視点から政策的含意を以下のように整理した。

供給力を高める要因としては、高所得国と高炉のある国では、都市への人口集積、製造業の賃金水準、鉄鋼の蓄積量、教育水準であり、リサイクル促進のために、都市での効率的な回収システム、リサイクル教育等の政策が必要と考えられる。また、低・中所得国と高炉のない国では、貿易開放度が強い要因であることから、適正なりサイクル貿易が必要となる。需要拡大を促進する要因は、カテゴリー別の特徴がある。高所得国では、鉄鋼生産力とエネルギー資源輸入依存度、低・中所得国では消費拡大、高炉のある国では、エネルギー資源輸入依存度、高炉のない国では鉄鋼生産力、消費拡大、天然資源賦存量となっている。エネルギー資源輸入依存度や天然資源賦存量をリサイクル政策の制御要素とすることはできないので、鉄鋼生産力増強や消費拡大を図る際に、リサイクル資源としての鉄スクラップの有効利用を誘導するよう

な政策が必要となろう。

また、高所得国と低・中所得国の決定要因の差異分析を踏まえ、2. の(仮説1)から(仮説3)に関する考察を行う。まず、「貿易開放度」の分析結果では、低・中所得国の鉄スクラップの調達において、貿易が大きな役割を担っていること示唆する。つまり、低・中所得国では鉄スクラップの輸入依存が高いということであり、(仮説1)と整合的である。また、高所得国と低・中所得国の定数項を比較すると、高所得国は負の値で、低・中所得国は正の値である。この定数項は、鉄スクラップの回収量の決定要因について、説明変数では説明できない要因の存在を示すものである。例えば、リサイクル制度の運用による回収力、製品品質などのへ選好など、説明変数が全て0でも残る観測できない様々な要因である。高所得国において、定数項が負の値ということは、低・中所得国よりも鉄スクラップ回収が進まない固有の条件による効果が大きいことを示している。一方で、鉄鋼蓄積量は高所得国の方がはるかに大きいため、鉄スクラップの発生量も多い。したがって結果的に高所得国では鉄スクラップが供給過剰な状態になりやすい特質を有しているものと考えられ、この点でも(仮説1)と整合的である。(仮説2)については、「製造業の成長」「消費拡大」が高所得国ではそれぞれ鉄スクラップ回収量と負の相関があるものの統計的には有意ではない。低・中所得国では、「製造業の成長」「消費拡大」が鉄スクラップの正の相関があることを示しているが、「製造業の成長」については統計的に有意ではない。総じて(仮説2)を支持する結果は得られなかった。「教育水準」の分析結果は、特に高所得国にお

いて、高い教育水準によるリサイクル政策への理解やリサイクルへの参加を促進する要因となることを示唆するものである。この点は、(仮説3)と整合的である。また、定数項を比較すると、高所得国は負の値で、低・中所得国は正の値である。これは高所得国において低・中所得国よりも鉄スクラップ回収が進まない固有の条件による効果が大きいことを示している。こうした条件に抗してリサイクルを進めるには、リサイクル制度や教育が重要な役割を果たすことが考えられ、(仮説3)と整合的である。

## 結語

図表2の作業仮説の実証結果によって政策的含意を導いた。また、経済発展段階に応じた決定要因として設定した3つの仮説のうち2つの仮説について妥当性が概ね確認できた。総じて本稿の分析結果は、貿易、生産、消費などの拡大によって、高所得国では供給過剰で、低・中所得国では供給不足であるという状況がより顕著になることを実証した。一方で貿易はこうした状況の緩和機能を果たす。つまり、高所得国から低・中所得国への鉄スクラップの輸出が活発化するということである。この貿易パターンは、汚染性の高い廃棄物の混入等によって、高所得国から低・中所得国への環境汚染輸出リスクを高めている。こうした視点での研究は今後の課題である。

[投稿受理日2014.8.22/掲載決定日2015.1.29]

## 注

- (1) 我が国の家電リサイクルのシステムや実績は、一般財団法人 家電製品協会が毎年発行する『家電リサイクル 年次報告書』に詳しい。

- (2) ウエストピカーはスカベンジャーとも呼ばれ、McDougall et al [2004: 29-31] は、インフォーマルな経済の中で、機能を明確にして適切な廃棄物管理システムの一部として取り込むべきとしている。
- (3) 粗鋼生産がない国、全期間がWorld Steel Associationによる推定値 (e) の場合は回収量推計の対象外とした。
- (4) データ欠損 (空白欄) は0とみなした。
- (5) 回収量の推計の結果、国によっては負の値を取る場合が生じた。この要因としては、推計式の構造から、直接還元鉄、輸入鉄スクラップによって、国内回収の鉄スクラップが代替された結果であるとみなせる。あるいは、銑鉄生産が粗鋼生産量より多い場合 (在庫化あるいは輸出している) などが考えられる。したがって、こうした場合にはデータ上は0とした。
- (6) ヨーロッパ諸国のデータはEURO STATを閲覧 [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/search\\_database](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/search_database)  
アメリカのデータは、USGSのデータベースを閲覧 [http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/iron\\_&\\_steel\\_scrap/](http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/iron_&_steel_scrap/)  
日本のデータは一般社団法人 日本鉄原協会のweb-siteを閲覧 <http://www.tetsugen.gol.com/kiso/6buykuzu.htm>
- (7) 2014年時点でのWorld Bankの定義に従った。高所得国とは一人あたりGNPが\$12,746以上、上位中所得国は\$4,126～\$12,745、下位中所得国は\$1,046～\$4,125、低所得国は\$1,045以下である。

#### 参考文献

- 菅幹雄 2002「第5章 鉄リサイクルのシミュレーション」『循環型経済社会システムの計量分析モデルーガラスびん・鉄のケースー』経済分析ー政策研究の視点シリーズ20, 内閣府経済社会総合研究所.
- 富高幸雄 2013『日本鉄スクラップ史集成』日刊市況通信社.
- 渡邊啓一 2009「鉄スクラップリサイクルの現状」月刊素形材, Vol.151 No.3, pp.21-27.
- Forbes R. McDougall, Peter R. White, Marina Franke and Peter Hindle 著・松藤敏彦訳 (2004)『持続可能な廃棄物処理のために』, 技報堂出版, p29-31.

- Robin R. Jenkins, Salvador A. Martinez, Karen Palmer, and Michael J. Podolsky 1999 "The Determinants of Household Recycling: A Material Specific Analysis of Unit Pricing and Recycling Program Attributes", *Belfer Center for Science and International Affairs' web-site*, [http://live.belfercenter.org/files/jenkins\\_et\\_al.pdf](http://live.belfercenter.org/files/jenkins_et_al.pdf)
- Pieter J. H. Van Beukering and Mathijs N. Bouman 2001 "Empirical Evidence on Recycling and Trade of Paper and Lead in Developed and Developing Countries", *World Development*, Vol.29, No.10, p1717-1737.
- Puckett, J. and T. Smith (eds.) 2002 "Exporting Harm", *The Basel Action Network and Silicon Valley Toxic Coalition' web-site*, <http://www.ban.org/E-waste/technotrashfinalcomp.pdf>
- James D. Reschovsky and Sarah E. Stone 1994 "Market incentives to encourage household waste recycling: Paying for what you throw away", *Journal of Policy Analysis and Management*, Vol.13, No.1 (Winter, 1994), p120-139.
- Vijaya G. Duggal, Cynthia Saltzman, and Mary L. Williams 1991 "Recycling: An Economic Analysis", *Eastern Economic Journal*, Volume XVII, No.3, July-September 1991, p351-358.