

廃棄物処理等科学研究費補助金 総合研究報告書概要版

- ・ 研究課題名＝アジア地域における廃電気電子機器と廃プラスチックの資源循環システムの解析
- ・ 研究番号＝K 1 8 2 3, K 1 9 5 2, K 2 0 6 4
- ・ 国庫補助金精算所要額（円）＝75,013,250
- ・ 研究期間（西暦）＝2006-2008
- ・ 代表研究者名＝寺園淳（国立環境研究所）
- ・ 共同研究者名＝吉田綾、村上（鈴木）理映（以上、国立環境研究所）、村上進亮（国立環境研究所(2006)、東京大学大学院(2007-2008)）、新熊隆嘉（東京外国語大学(2006-2007)、関西大学(2008)）

・ 研究目的＝

アジア地域において適正な資源循環システムを構築するためには、各国国内における 3R の促進と国際的な資源循環の適正管理がともに必要であり、具体的な品目に対する詳細なマテリアルフローと影響因子の把握を基にした解析と提言が求められている。廃電気電子機器と廃プラスチックは重要な検討対象であるにもかかわらず、基礎となるべき各国国内及び国際的なマテリアルフロー情報が不足している。加えて、中国など輸入国における輸入・リサイクル制度の変化が激しい上に、経済動向などの資源需給に与える要因が予測困難である。

そこで本研究では、各種統計調査、現地調査や海外専門家との研究協力などによって、国内・国際両面からのマテリアルフロー解析と影響因子の把握を行う。また、将来の制度や経済の変動にも対応した指標化・モデル分析と制度分析を行うことで、適正な資源循環システムを構築するために必要な条件などの知見を提供することを目的とする。

・ 研究方法＝

(1) 廃電気電子機器のマテリアルフローの解析

廃電気電子機器は国内の見えないフローを推定するとともに、日本を含む東アジアでの中古電気電子機器については貿易統計における抽出方法などを検討しながら流出入の経年変化を明らかにする。また、アジア諸国の排出量推定について、既存の方法と結果を比較分析する。加えて、中古電気電子機器の輸入国としてのフィリピンやベトナムにおいて、破損率などの輸入状況や販売状況を調査するとともに、ベトナムにおいて廃電気電子機器の解体状況を調査して部品や材料の利用状況を把握する。本課題の効率的な実施と 3R の国際展開のために、廃電気電子機器については国際ワークショップの開催や海外専門家との研究協力を積極的に行う。

(2) 廃プラスチックのマテリアルフローの解析

廃プラスチックについては、日本・中国・香港などの貿易統計を用いて、日本の輸出を含む東アジアのマテリアルフローの現状を課題とともに把握する。特に、PETについては日本における市町村由来の使用済みPETの取扱い状況とその要因を調査するとともに、日中間の使用済みPETのフローを推定する。また、中国における廃プラスチックの輸入・リサイクル状況にかかる調査を継続し、中国における発生・リサイクル状況を調査し、リサイクルの特徴や国内マテリアルフローの概略を把握する。

(3) 国際的な移動を伴う資源循環システムの解析

国際資源循環にかかるモデル分析と指標化によって、規制動向や需給変化などを考慮した対策などに対して、マテリアルフローの変化や効果を調べる。また、各国のリサイクル制度の比較分析や輸出入規制の検討を行い、拡大生産者責任の導入状況や費用負担の仕組みを含めて、環境負荷・資源性・経済性などの視点から輸出入両国にもたらされる得失を明らかにする。さらに、国際的な移動を伴う循環資源の資源性・有害性に着目して、資源性評価手法のレビューと検討を行い、廃電気電子機器に適用する。

・結果と考察＝

1. 廃電気電子機器のマテリアルフローの解析

1.1 国内における廃電気電子機器のマテリアルフロー

(1) 国内における使用済み家電製品のマテリアルフローと輸出

家電リサイクル法の制度外で取引され、その量が把握されていない使用済み家電製品も、推定排出台数の半数程度存在しているとみられる。いわゆるこの「見えないフロー」を含めた使用済み家電製品の国内マテリアルフローについて、経済産業省と環境省による推定結果を検証し、本研究課題で再計算を行った結果、リユース目的の海外輸出台数は2005年度において460万台、2007年度において480万台（図1）と推定した。

中古家電の輸出台数の推計方法として、前述の国内フローの推定を行う方法と、貿易統計に基づく輸出単価から安価なものを中古品として推定する方法がある。上記の2

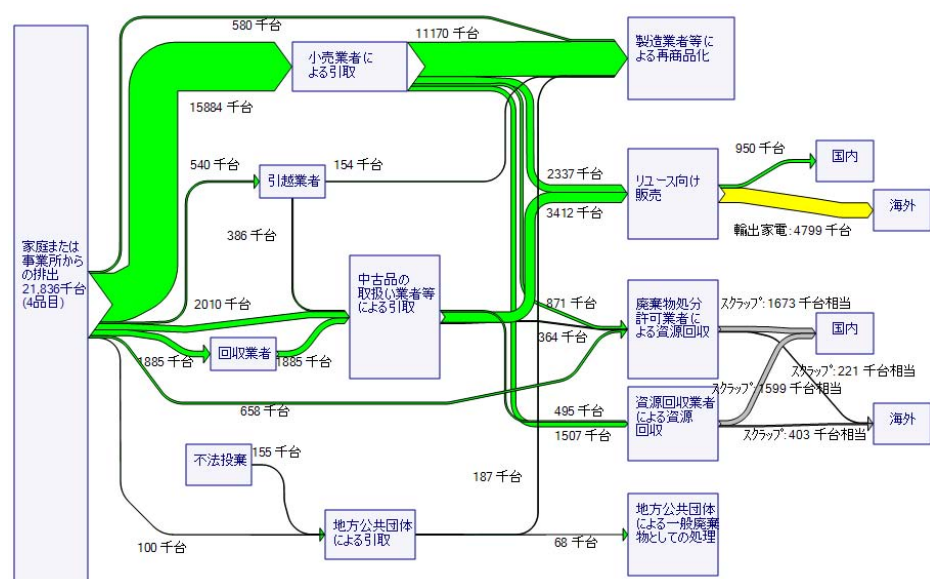


図1 本研究課題で推定した使用済み家電4品目の国内フロー (2007年度)

つの方法で中古輸出台数を推計した結果を整理すると、表1のようになった。調査年代は多少異なるものの、4品目の中ではテレビが最も輸出台数が多く、年間220万台程度が輸出されているとみられる。貿易統計には少額貨物は計上されず、テレビ以外の3品目についてはそうした少額貨物に該当する可能性があるため、全体としては貿易統計による推定結果が過小である可能性が高いと考えられる。

表1 日本からの家電輸出台数の推定結果

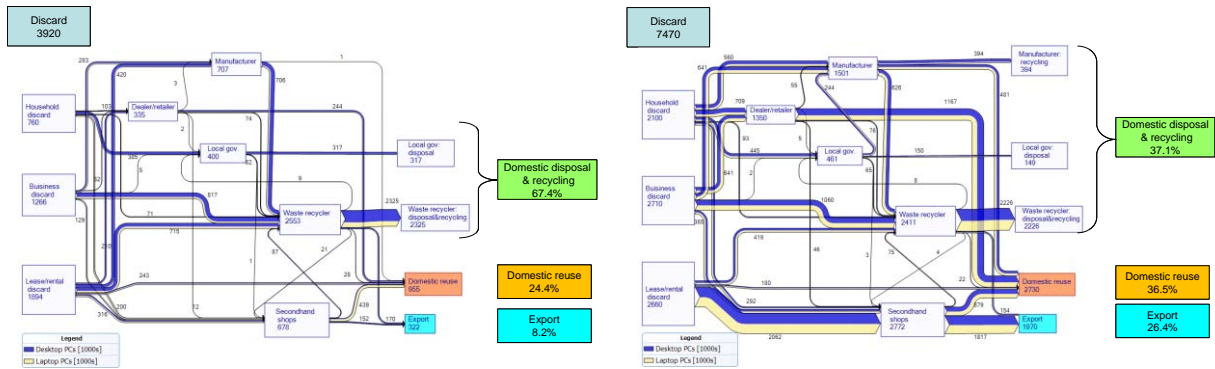
		年	エアコン	冷蔵庫	テレビ	洗濯機	4品目計
貿易統計からの推定	新品	2007年	1,306,687	87,244	5,383	43,410	1,442,724
	中古品	2007年	241,317	152,056	2,168,653	26,483	2,588,509
	合計	2007年	1,548,004	239,300	2,174,036	69,893	4,031,233
	新品	2006年	1,055,300	60,880	2,789	72,602	1,191,571
	中古品	2006年	546,157	55,402	2,193,893	29,439	2,824,891
	合計	2006年	1,601,457	116,282	2,196,682	102,041	4,016,462
	新品	2005年	791,594	51,878	2,892	85,118	931,482
	中古品	2005年	229,533	33,537	2,157,320	21,333	2,441,723
	合計	2005年	1,021,127	85,415	2,160,212	106,451	3,373,205
国内フローからの推定	中古品(著者推定)	2007年度	1,367,195	738,636	2,043,373	649,530	4,798,734
		2006年度	1,308,193	713,690	2,041,530	666,076	4,729,489
		2005年度	1,138,152	616,259	2,225,156	621,584	4,601,151
	中古品(経産省・環境省の推定)	2005年度	1,453,252	825,576	2,843,762	814,481	5,937,071

(2) 国内における使用済みパソコンなどの発生とマテリアルフロー

誤差最小化法を用いて、2000、2001と2004年度のデスクトップ(本体)およびノートパソコンのフローをそれぞれ推計し、リサイクル制度の施行前後の変化の把握を試みた。その結果、2000年度は、排出台数392万台のうち67.4%が国内処理・リサイクルされ、24.4%が国内でリユース、8.2%が海外へ輸出されたと推計された(図2)。家庭系パソコンのリサイクルが開始された後の2004年度は747万台が排出され、国内処理・リサイクル、国内リユースおよび海外輸出の割合は37.1%(277万台)、36.5%(273万台)、26.4%(197万台)と推計された。事業所から販売店への引渡し台数の増加が国内リユースの増加に、リース・レンタル業者から中古品取扱業者(古物商)への引渡し台数の増加が海外輸出の増加にそれぞれつながったと考えられた。

しかしながら、このマテリアルフローの推計結果では、再資源化施設等に到着した後の部品や素材のリユース・リサイクル・最終処分などの扱いは分からないため、パソコンの各部位の重量構成比を縦軸に、メーカー系リサイクル施設、自治体処理施設、途上国のインフォーマルセクターにおける処理処分方法の割合を横軸にとり、各ルートに流れた後のリサイクル、リユース、埋立等の状況を図示化した(図3)。資源有効利用促進法に基づくパソコンリサイクルの施行によって自治体からメーカー系に処理が移行したことは、資源の有効利用・埋立処分量の削減の両面からみて望ましいといえる。途上国への輸出につい

では、メーカー系のルートよりもリユースとリサイクルへまわる率が高く、資源の有効利用の面で優位な点も認められる。しかしながら、引き渡し先の回収歩留まりや、資源回収プロセスにおける環境汚染や有害物質の労働者曝露などの問題もあり、注意する必要がある。



(a) 2000 年度 (b) 2004 年度
図 2 使用済みパソコンのマテリアルフロー (単位：千台)

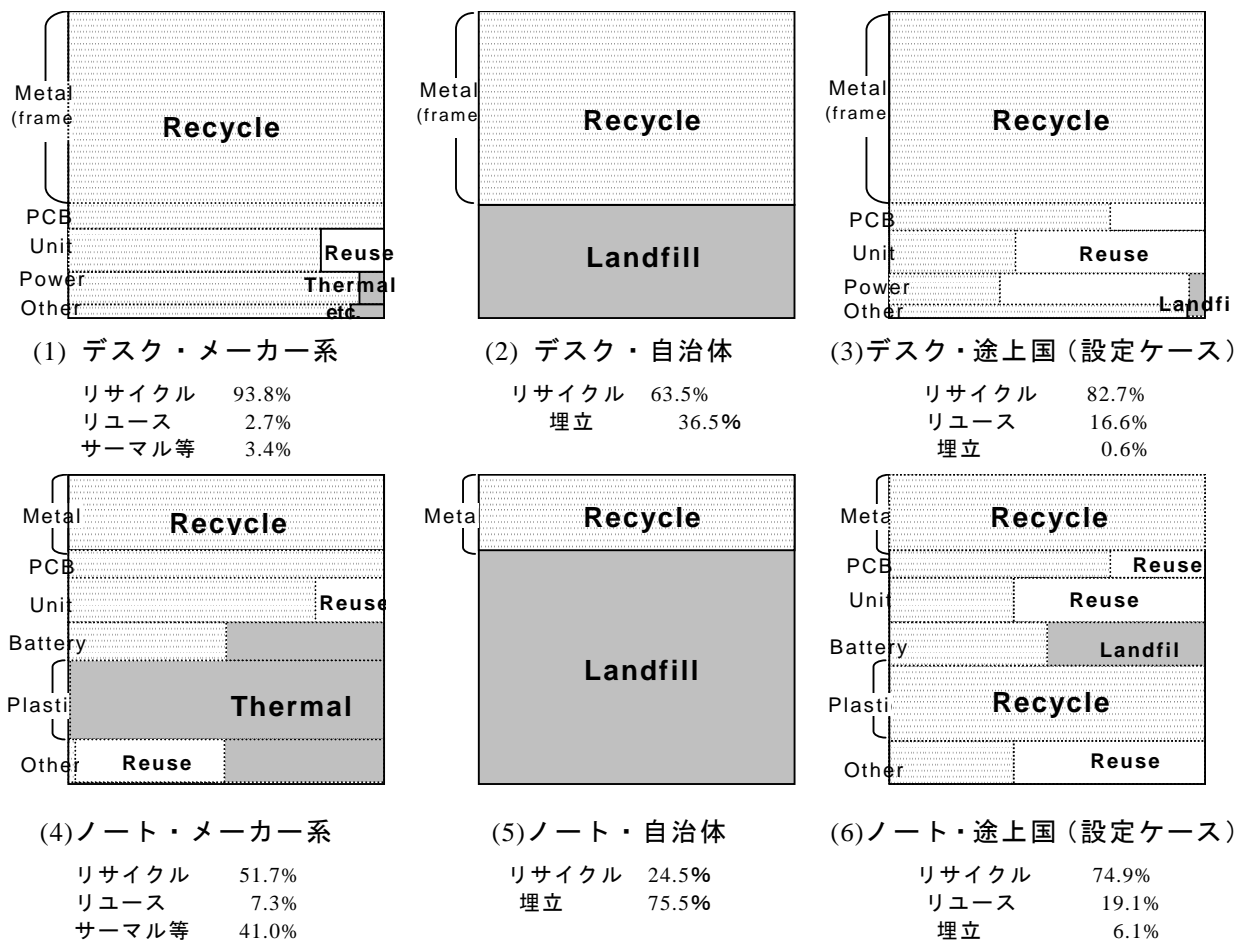


図 3 デスクトップ本体およびノート PC のリユース・リサイクル・最終処分の重量割合 (縦軸が各部位の重量構成比、横軸が処理処分方法の割合、面積が処理処分量の割合を表す。)

パソコン基板に含まれている金属について、その回収状況を、重量、価格、TMR (関与

物質総量) ベースで示した。インドのインフォーマルセクターでは、金の含有量の 25%のみ回収されており、残りの 75%は未回収である (EMPA, 2006) などの状況を考慮すると、途上国における回収量は先進国の先進的なルートと比較して、重量ベースで 0.77 倍、価格ベースで 0.20 倍、TMR ベースで 0.22 倍程度であることが分かった。以上の結果から、行き先別の資源回収・リユース・埋立量の違いを十分認識しながら、パソコンの資源循環のあり方をさらに議論されるべきであると考えられた。

1.2 海外における廃電気電子機器のマテリアルフロー

(1) アジア諸国における廃電気電子機器 (E-waste) の発生とマテリアルフロー

2006 年から 2008 年にかけて国立環境研究所 E-waste ワークショップを 3 回開催し、アジア諸国の E-waste のマテリアルフロー、E-waste リサイクルの有害性・資源性と評価、E-waste の回収・リユース・リサイクルに関して、各国専門家と有益な情報交換や議論を行った。

アジア諸国における排出量について、ワークショップなどで推定結果を収集・整理した。その結果、推定モデルや使用年数などのデータによって推定結果が大きく異なることがわかった。また、韓国でも過去の関連研究をレビューして家電 4 品目の排出台数を推計し、自国のリサイクル制度による回収台数と比較した結果、4 割程度以下であり、特にエアコンについては 1 割程度と低いことがわかった。このほか、日本やドイツにおける携帯電話の回収率も小さいことが報告され、インフォーマルな回収業者との競合の現状や回収のためのインセンティブ、資源価格変化への対応などが認識された。

(2) 中古電気電子機器の国際フロー

近年、アジア地域では循環資源の国際貿易が盛んに行われている。中古の家電製品やパソコンなども、アジア諸国では輸入が許可されていることも多く、新品よりも低価格で入手できる中古品の需要は依然として高いと考えられる。アジア各国・地域における中古・廃電気電子機器の輸入規制状況について調査した結果、廃電気電子機器は禁止または許可制の国が多く、輸入規制が厳しいことがわかった。中古電気電子機器については、台湾・シンガポール・カンボジア・フィリピンなど一定の条件で認められている。しかし、安全性の観点から中国・韓国では安全検査認証が必要で、中国では事実上禁止とみなされるほか、香港・タイでは製造後 5 年ないし 3 年以内を条件とするなど、古くて動作確認が取れない機器の輸入は強化される傾向にある。

貿易統計による方法を用いて、2006 年の日本・中国・香港の間のテレビ (CRT 型) のマテリアルフローを推定した結果を図 5 に示す。算した結果を図 4 に示す。2006 年 (およびそれ以前) は香港に対して年間 150 万台前後の輸出があったが、香港の CRT テレビ・モニタの輸入規制強化 (2006 年 4 月) 以降、輸出量は大幅に減少することとなった。その結果、ベトナム、マカオ、中国、フィリピンなどの周辺国・地域向けの輸出量が伸びている。相手国の輸入規制を輸出国側で理解し、輸出業者にも周知することの意義は大きいですが、そのために規制が弱い国へ不適正な中古品輸出が移動することは避けねばならない。不適切な輸出入を防止するために、海外リユースの実態把握や、アジア地域での輸出国・輸入国の対話と相互理解による中古品輸出入管理を進める必要がある。

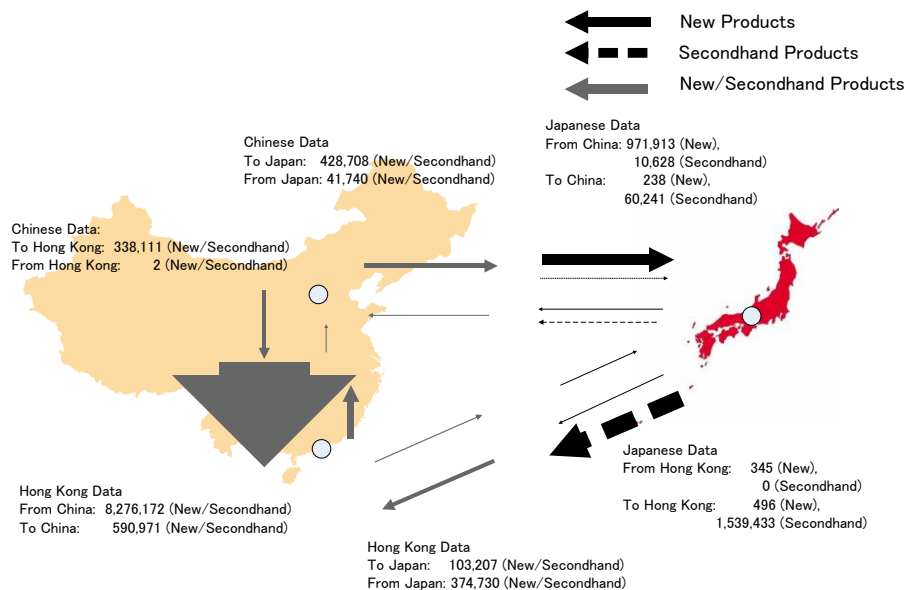


図4 日本・中国・香港におけるCRT型テレビマテリアルフロー（2006年）

(3) フィリピンにおける輸入中古電気電子製品の修理・販売と廃棄状況

2008年2月に日本からフィリピンへ向けて輸出された40フィートコンテナ1本分のカラーブラウン管テレビ（814台）を追跡調査し、コンテナの積載率、輸送による破損率、修理可能率、残渣率、製造年等について、定量的なデータを収集した。

梱包はブラウン管画面に段ボール紙を貼り付けた簡素なものであるが、コンテナ容積の95%程度以上積載している場合は、外装の破損は少なく、ブラウン管が割れることもほとんどないことが確認できた。追跡したコンテナのフィリピン到着時の（外装）破損率は約3%程度であり、約半分のテレビに通電検査で画面が映らないなどの異常が見られた。

輸入中古テレビは、すべてチューナーの調整と変圧器の取付け修理が必要である。交換された部品等はスクラップとして無償あるいは有償で、スクラップ回収業者（ジャンクショップ等）に引渡されており、残渣として埋め立てられるものは非常に少ないものと考えられた。しかしながら、ごみ処分場や周辺の視察では、ブラウン管チューブをハンマーで破壊して金属部品等を取り出す様子や、細い電線を焼いて金属を回収する様子も見られたことから、処理リサイクルの過程での有害物質の人体や環境に与える影響が懸念された。

国際リユースの得失をライフサイクル評価により定量的に評価する枠組みを検討した（図5）。その結果、国際リユースの得失にはフィリピンにおけるリユース年数(L_y)と日本での使用年数(L_x)および製品全体の使用年数(L)が関係していることがわかった。

国際リユースする場合の資源消費量 (P_i) と国際リユースしない場合の資源消費量 (P_d) を比較すると、資源消費節約効率 (f) は式(1)で表される。

$$f = \frac{P_i}{P_d} = \frac{\frac{L_x}{L} + \frac{L_y}{L}}{\frac{L_x}{L_x} + \frac{L_y}{L}} = \frac{L_x + L_y}{L + L_y} = \frac{L}{L + L_y} \quad (1)$$

$$L = L_x + L_y$$

製品の長寿命化とフィリピンの新品需要の代替により、資源消費は $\frac{L}{L+L_y}$ 倍に改善する

一方、製品の廃棄負担は輸入国のみ $\frac{L}{L_y}$ 倍となり、公平性の問題があることが分かった。

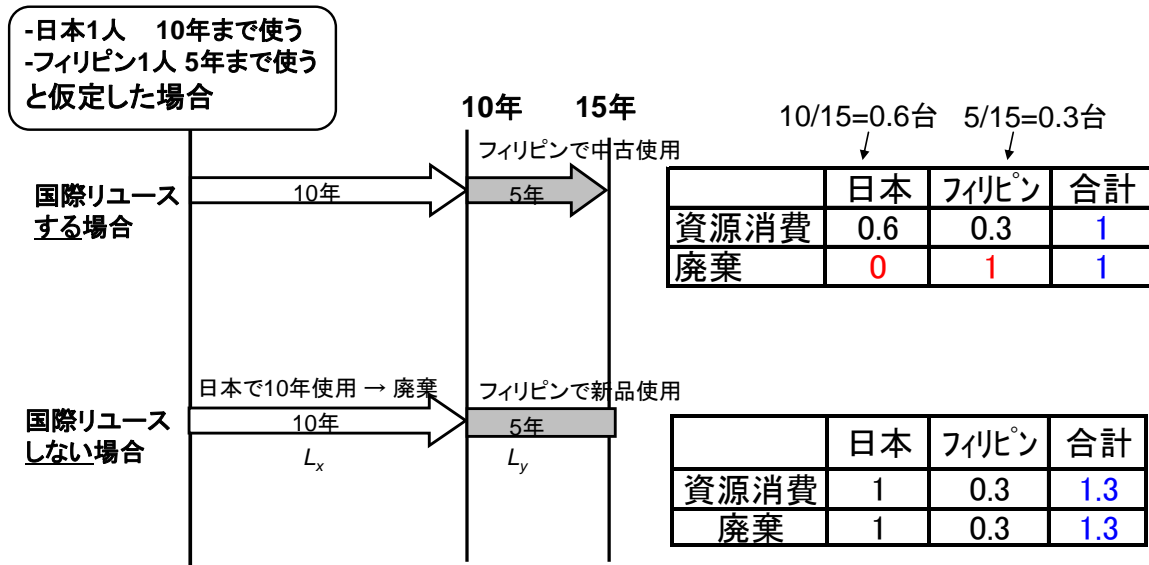


図5 国際リユースのライフサイクル評価

(4) 中国やベトナムなどの東南アジアにおける輸入電気電子機器のマテリアルフロー

中国とベトナムにおいては、中古電気電子機器および基板は輸入禁止であるが、実際はかなりの取引が存在する。ベトナムと中国の国境付近では、ブルーシートをかぶせただけの小型船によって中古家電の密輸が行われているのが確認された。ベトナム南部では、大半の中古品を輸入規制が緩いカンボジアから密輸するようになった。密輸された中古品の一部はベトナム南部のメコンデルタでの需要をみたし、残りはホーチミンに運ばれ、多くはブラウン管を研磨し、カバーと基板を中国製のものと交換した状態で売られる。

(5) ベトナムにおける中古電気電子機器の販売状況と廃電気電子機器の解体状況調査

ベトナムでの中古電気電子機器の販売状況について、製品ラベルの情報から、「日本で使用されていたと見られるものの割合を把握した。その結果、調査台数は限られるものの、中古品が多く流通されている CRT テレビ、ラジカセ、冷蔵庫、および炊飯器の4種類について、それぞれ16%、100%、19%、および0%が日本使用歴品とみなされた。

また、廃電気電子機器の解体、部品・素材回収の実態などを明らかにするために、ハイフォン市にある廃家電解体工場で、実際にそれぞれの家電製品を解体してもらい、回収部品・素材の重量、売却価格、売却先等の情報を詳細に調査した。その結果、売却先について、鉄、銅、アルミ、プラスチック等はベトナム国内のリサイクル村に運ばれる場合と中国に輸出される場合があり、基板は直接、中国に輸出されていることが明らかになった。

(6) 海外における廃電気電子機器の管理制度

家電などの E-waste に着目し、アジア諸国と欧州諸国で行ってきた調査から、拡大生

産者責任の導入状況、チェック機能、費用負担を含めた管理制度の比較分析を行った。

拡大生産者責任については、日本と韓国では回収やリサイクルのための物理的な責任が要求される一方、台湾では金銭的な責任が要求されている。欧州でも、回収とリサイクルのための物理的な責任は要求されているものの、回収については自治体や小売業者にも協力が要請されているといえる。また、各々の制度内の回収・リサイクルに対するチェック機能についても、欧州数カ国や日本、台湾、韓国の仕組みには随所に相違点が見られた。

これらの点から、生産者とリサイクル業者に関して、途上国への示唆点をいくつか見いだすことができた。まず、主たる生産者が不在である場合は、生産者に金銭的責任を負わせて政府がリサイクルシステムを管理する方法が選択されうる。

次に、政府が管理するリサイクルシステムで、生産者からは原資を徴収し、業者に補助金を支給する制度に関しては、徴収する金額と支払う補助金の均衡を保つのはとても難しいといえる。また、制度内で業を営み補助金を得る業者には、ある程度の技術のリサイクルだけでなく、施設などにも一定の基準が求められる。しかし、当該 E-waste の価値が高いほど、制度を通じないリサイクルを全面的に禁止して制度内の業者に補助金が支払われても、制度とは無関係な売買が行われる可能性が高いため、不適切なリサイクルの防止策との組合せによって制度を構築する必要がある。

2. 廃プラスチックのマテリアルフロー

2.1 国内における使用済み PET のマテリアルフローと 2008 年度の状況

2007 年度の指定 PET 樹脂販売量は 57.3 万トンであるのに対して、市町村の分別収集量は 28.3 万トンとなっており、市町村回収率は 49.4%とされている。市町村が指定法人ルートを選択した場合、分別基準適合物にするために分別収集などの前処理に多額の費用を要している。これらの費用を埋め合わせたい自治体は指定法人への引渡しを控えるようになってきた。そのため、「独自処理」といわれる指定法人以外のルートが 2005 年度以降増加し、2007 年度の指定法人ルートは 14.0 万トンなのに対して、独自処理ルートは 14.3 万トンに達したものである。

指定法人以外の独自処理ルートに流れた PET ボトルについては、直接または間接に輸出される場合が多く、事業系とあわせて 2007 年度は 20 万トン弱が輸出されていると考えられる。各種統計などから 2007 年度の廃 PET ボトルのマテリアルフローを図示すると図 6 のようになる。廃 PET ボトルのうちこのような使用済み PET ボトルの過度な輸出依存を防ぎ、国内のリサイクル体制を維持するために、2006 年の容器包装リサイクル法の改正においては、基本方針に「市町村は、(中略)、指定法人等に分別基準適合物を円滑に引き渡すことが必要」と明記された。また、指定法人ルートの場合は、有償入札によって 2007 年度は市町村にも 48 億円 (2007 年 3 月から 2008 年 2 月の有償分の収入から税金を控除した総額) が還元されている。これらの対策により、2007 年度の容器包装リサイクル協会への引渡し量の減少には一定の歯止めがかかったと考えられる。

近年は国内で発生した使用済み PET ボトルの輸出量が伸びて国内の再商品化事業者が原料が不足する状況が生じていたが、2008 年秋以降の世界的な経済危機によって、状況が大きく変化してきた。すなわち、中国向け廃 PET の輸出量ならびに輸出金額が大幅な落ち込みを見せたものだが、これは中国製の繊維製品の需要低下から原料の供給過多となった

上、原油価格の低下も加わって、再生 PET フレークなどの原料価格が大幅に低下したことが影響している。

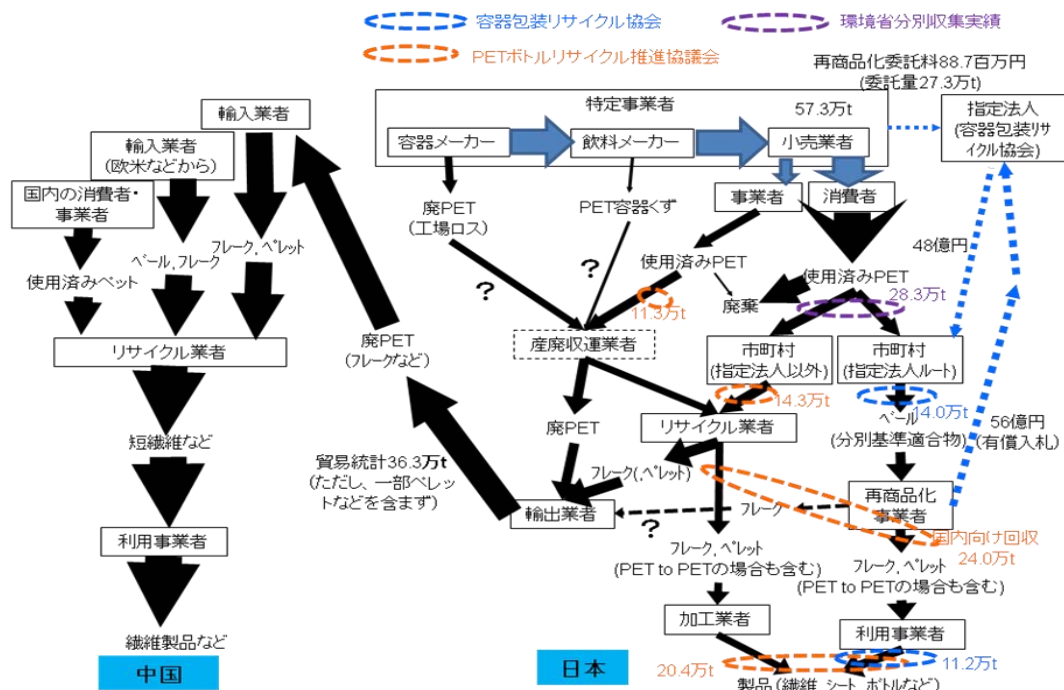


図6 2007年度における廃PETのマテリアルフローの概要

2008年10月には業界では輸出の大幅な不振が唱えられ、10月末には市町村による独自処理を引き受けていた再生処理事業者の中で、引取単価の変更や契約解除を市町村へ要求する事業者が現れ始めた。容器包装リサイクル協会では、国内におけるPETボトルの適正なリサイクルシステムの維持を目的に、2008年度限りとして、期中の追加入札と既契約の単価調整という2つの緊急措置が実施された。追加入札の結果は、2008年度に45.1円/kg（有償）にまで上昇していた平均落札単価が、逆有償の1.143円/kgにまで低下した。

2.2 廃プラスチックの貿易量

日本からの廃プラスチックの輸出量について、2000年には30.0万トンであったが、2007年には151.7万トンに達しており、2007年は2000年の5.06倍の伸びとなっている。なかでも廃PETについては、2007年で35.0万トンとなっており、これは廃PETの輸出統計品目分類が日本で設定された前年の27.2万トンの1.29倍となっている。

仕向け先については、中国と香港向けの輸出が大半を占めている。2004年5月から2005年9月まで中国が日本を原産地とする廃プラスチックの輸入停止措置をとったため、この期間の対中国向け輸出量は著しく減少した。しかしながら、輸入停止措置の期間も、香港に輸出先をシフトさせることによってその減少を補いながら、全体としては2000年以降の輸出を堅調に伸ばしてきた。2007年の廃プラスチック輸出量は中国向け53.1万トン、香港向け85.3万トンであり、輸出量全体に占める割合はそれぞれ35.0%、56.2%となっている。2003年以前に中国・香港向けがほぼ同割合であったことを考えれば、中国における輸入停止措置解除後もまだ中国向けの直接輸出を控える傾向は残っている。ただし、廃PET

に限っては中国向け 18.5 万トン (52.7%)、香港向け 14.7 万トン (41.9%) のように中国向け直接輸出が香港向けを逆転することとなった。

2.3 中国における廃プラスチックのリサイクルと 2008 年度の状況

中国における廃プラスチックのマテリアルリサイクルでは、ペレット化されるなどして、樹脂や繊維製品の原料として取引されることが多い。廃 PET については、日本などからフレーク（粗破砕品が多い）などとして輸入された後、破砕・洗浄、ペレット化され、大半は短繊維など繊維製品の原料として利用されている。中国では合成樹脂や繊維製品の生産において「世界の工場」としての地位が確立されており、世界や国内に対する原料需要が大きくなっている。一方、廃 PET など廃プラスチックの国内リサイクルは、回収ルートなどが十分整備されていない。このため、バージン原料に比べ比較的価格が廉価で、国内産に比べ良質な海外の廃プラスチックの輸入が急増してきたものである。

輸入された廃 PET などを洗浄した場合の排水が処理される例は比較的大企業に限られる。発生した残渣についても、プラスチックの種類ごとに選別され、再利用される場合が多いが、分別が不可能な状態の残渣については野焼きされる事例（廃 PET 以外）もみられてきた。近年は PET に限らず、廃プラスチックのリサイクルに関する環境規制は厳しくなっている。著者の現地調査結果からは、輸入・リサイクル業者の対応は、1) 工業園区内での排水処理設備を利用する、2) リサイクル活動を断念する、3) 規制がより弱い地域や国への移転を検討する、などがみられた。

2008 年度は輸入廃プラスチックの状況に大きな変化が生じたことが現地調査の結果からも伺えた。輸入廃 PET の価格は最も高かった夏頃から年末にかけて 3 分の 1 程度に暴落した。輸入廃 PET によるリサイクル業者の中には、稼働率を半分以下程度に落としたり、数万トンレベルの在庫調整を行っている業者なども見られた。

3. 国際的な移動を伴う資源循環システムの解析

2008 年は秋の世界的经济危機によって再生原料市況にも大きな影響があり、日本から中国などへの廃プラスチックや再生金属資源の輸出が急激に落ち込む時期を迎えた。このような経済変動を考慮したものも含めて、以下の分析を実施した。

3.1 PET ボトルの事例分析

使用済み PET ボトルの引渡し先に関して、国内（指定法人ルート）と輸出の 2 者択一を市町村が行う場合を仮定し、システムダイナミクスによるモデル分析を試行した。その結果、価格要因のみであれば市町村が結果的に輸出業者に引き渡す結果となる一方、指定法人による有償入札を含め、国内リサイクル促進のための対策が有効であることも示された。ただし、市町村においては価格以外の要因で引渡し先を決定している場合も多く、そのような意思決定に対する考察が必要であることが考えられた。

3.2 リサイクル費用の支払い方式に着目した制度分析の事例

理論経済モデルの一例として、リサイクル費用の支払い方式に着目した制度分析を実施した。日本の家電リサイクル法では、消費者が廃棄段階でリサイクル費用を支払う方式 (DF

方式) が採用されたが、これが海外への中古輸出に強いインセンティブを与えた。日本における DF 方式から ADF 方式 (購入段階での前払い方式) へのシステム変更は、アジアの資源循環にどのような影響をもたらすのか、などの問題を明らかにするために理論モデルを構築した。主な結果として、次のことが明らかとなった。1) DF 方式から ADF 方式にシステム変更することによって、「見えないフロー (中古輸出)」は減る。2) ところが、それは輸入国での新品の消費量の増加とスクラップ価格の低下をもたらす。スクラップ価格の低下によって輸入国でのリサイクルは増え、結果として、不適正リサイクルにともなう環境負荷は増加する。3) 輸出国でのシステムの変更は輸入国の社会的厚生を必ず小さくさせる。一方、輸出国の社会的厚生はシステム変更によって増加する可能性がある。

3.3 金属価格の時系列分析

本研究課題の当初は均衡モデルによる分析を予定していたが、実施期間中に直面したあまりに大きな価格の乱高下を考え、より短期的な価格の変動の分析を優先し E-waste の価格決定に主導的な役割を果たす銅スクラップの価格変動に関して時系列分析を実施した。

まず、それぞれの銅関連価格について自己回帰モデルを作成、その上で Chow 検定を実施することで、構造変化点を探った。その結果地金価格については 2004 年に、スクラップ価格はやや遅れて 2005 年辺りに最も大きな構造変化点が見いだされた。そこで、2004 年を境に、その前後の銅価格とダウ平均株価の相関を見たところ、構造変化以降は急激に高い相関を見せており、株式市場との相関の強まりが見られた。

次に、それぞれの価格指標間での因果関係を見るために、Granger 因果性検定を実施したところ、先の 2004 年の構造変化点の前後で因果性の有無が変化することがわかった。特に、国内銅建値から国内スクラップ価格への因果性が有意でなくなった点は注目すべきであろう。依然スクラップ価格は国内建値を指標として決定されているにもかかわらずこの因果性が有意でなくなったことは、他の要因の影響の増大により、スクラップ取引価格がより複雑な価格決定構造を持ちつつあること示唆している。

そこで、国内銅スクラップ価格が投機筋の影響を被るようになってきているのかを検定するために、EGARCH モデルを作成、レバレッジ効果 (ここでは「負のショックに強い反応を示す」の意) の有無を検定したところ、LME 銅価格、国内銅建値とともに、国内スクラップ価格もレバレッジ効果の存在が確認された。このことから、銅スクラップ価格は、市場で取引される商品と同様の挙動を示しているといえ、より安定的な資源循環システムの構築を考えると、余り望ましいとはいえない結果となった。

3.4 E-waste リサイクルにかかる許可制度の有効性の分析

— 中国・インドの許可制度から —

E-waste リサイクルの世界的拠点である中国・インドでは、当初、不適正リサイクル施設の強制撤去等の禁止措置を試みたが十分な効果を上げることができなかった。こうした経験を踏まえて、両国では、不適正リサイクルの取り締まりから適正リサイクルの育成に政策を転換した。その一つの表れが E-waste リサイクルの許可制度の導入である。

このような E-waste リサイクルの許可制度が機能することが理論・実証的に示すために、次のような理論モデルを考察した。すべてのリサイクル業者は許可証の申請が可能である

が、許可業者が不適正リサイクルを行った場合には罰金が科されるだけでなく、その許可証は一定期間停止処分となる。さらに、E-waste の排出者は、許可業者に売却する義務をもち、それに違反した場合には排出者に対して罰金が科される。その結果、このような排出者責任が追加されると、許可業者が提示する買取価格と無許可業者が提示する買取価格の間に差が生まれ（前者よりも後者の方が大きい）、不適正リサイクルが抑制されることがわかった。

許可制度が不適正リサイクルを抑制するメカニズムは以下のように説明できる。まず、排出者責任によって許可業者の買取価格が下がる。その結果、許可業者の得る利益は意図的に釣り上げられるが、それによってリサイクル業者の許可証を取得するインセンティブが増す。次に、ライセンス停止の可能性を制度化することで、許可業者が不適正リサイクルに手を染めることが抑えられる。その結果、より多くのリサイクル業者が許可証を取得し、かつ、許可業者の多くが適正リサイクルを選択する結果がもたらされる。

中国およびインドのフィールド調査においても、インフォーマルセクターの不適正リサイクル業者が提示する買取価格は、許可証をもったリサイクル企業の買取価格の2倍以上高いことがわかった。このことは、中国とインドにおける許可制度が機能していることを実証するものである。

以上から、E-waste リサイクルの許可制度が不適正リサイクル抑制に対して効果的であることが示された。ただし、この結果は、ただちに E-waste の自由貿易を容認するものではない。E-waste の貿易を考えた場合、E-waste の許可制度が効力を発揮するためには、輸出国側の協力が不可欠である。許可制度の要である排出者責任を採用する場合、国際貿易の枠組みでは排出者が輸出国の企業であるため、輸出国政府が自国の排出者に対して罰金を科す必要がある。輸入国と輸出国の協力・連携があってはじめて E-waste 貿易が認められるべきである。

3.5 資源性・有害性の評価

本研究課題の1年目に実施した、資源性をどのような観点から見るかに関する整理を再度実施、パラメータの調整等を行った。図7に示すPC基板を事例に代表的な評価指標についての説明を行う。2番目の素材価格によって重み付けからは銅と貴金属が重要視され回収されている現状が描

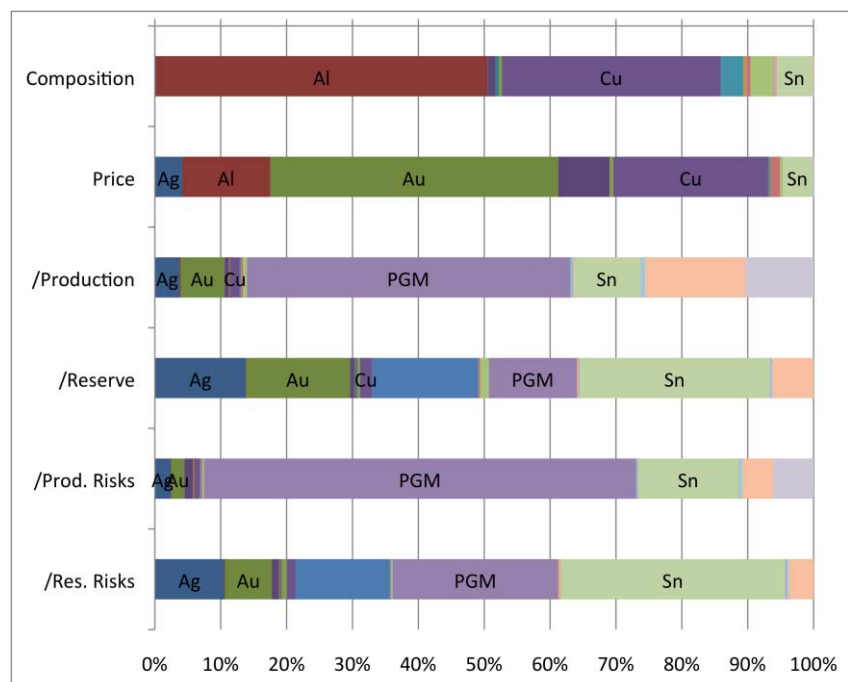


図7 視点の違いによる元素間の資源性評価の差

かれ、3番目と4番目は各元素をその当該金属の総生産量や埋蔵量でそれぞれ除した、マ

テリアルフロー上のシェアとも呼ぶべきグラフである。

その次の2つは、資源戦略的な視点を持つ評価である。5番目の棒グラフは1kg当たりの供給リスク（天然資源のみ）を表す指標となっており、例えば価格による重み付けと比べ、圧倒的に白金族元素が高く評価される。この評価は、循環資源の供給を、天然資源の供給リスクに対するバッファとして考えた場合に現れるものであり、より供給不安のある金属を優先的にリサイクルすべき、とした指標である。最後の棒グラフは同じことを埋蔵量で行っているものであり、何を優先的に貯めるかといった議論における指標となろう。

このように、どの金属を優先的にリサイクルすべき（もしくは貯めるべき）か、という問題は視点が異なれば結果は異なってくる。ここではグローバルな視点に立った評価を示したが、一国の資源政策という立場から見れば、優先すべきものがまた変わってくることはいうまでもない。

有害性については国内外の研究者との情報交換を中心に研究を進めた。ワークショップにおける海外研究者からの発表を通し、依然として中国広東省の Guiyu 地域において有害物質による環境汚染は深刻であり、例えば同地域における大気中の PBDE は、既存文献における他の地域の値に比べ100倍高いことが明らかにされた。次年度以降も引き続き海外研究者との交流を通してこの問題を明らかにしていく必要がある。

・結論＝

国際資源循環の物質フロー分析として、家電・パソコン、廃プラの国内・国際フローの精緻化を行った。家電は4品目の推定中古輸出台数が480万台程度あることを推定するとともに、東アジアの中古テレビなどのマテリアルフローを描いた。規制が弱い国へ中古品が不適正に流出している恐れがあるため、アジア規模で輸出入管理の連携を図る必要性を示した。また、韓国の制度内家電回収が推定排出台数の4割程度以下であることを示した。パソコンに関して、誤差最小化法を用いて、リユース目的の海外輸出は増加しているものの、パソコンのリサイクルが自治体からメーカー系に移行したことは資源利用・埋立処分量の削減の観点から効果があることを、リサイクル・処理ルート別の部材の利用方法を考慮した図示によってわかりやすく表現した。

廃プラスチックについて、廃PETボトルのうち自治体の独自処理と事業系から2007年度は20万トン弱が輸出されているなどのフローを推定した。また、中国での廃プラスチックリサイクルについては、粗破碎フレーク原料が多いことや排水処理実施が少ないことなどの特徴を整理した。日中の廃PETの輸出入について、フローの特徴と最近の停滞状況を把握した。

2008年は秋の世界的な経済危機によって再生原料市況にも大きな影響があり、日本から中国などへの廃プラスチックや再生金属資源の輸出が急激に落ち込む時期を迎えた。経済変動も考慮した国際資源循環の分析として、PETボトルを事例としたシステムダイナミクス、銅スクラップ価格の変動に対する時系列分析、E-waste リサイクルにかかる許可制度の有効性の理論分析を行った。その結果、銅スクラップ価格が株式市場との相関が強いこと、ならびに途上国におけるE-waste リサイクルの許可制度が不適正リサイクル抑制に効果的であることなどが示された。資源価格の変動にも柔軟な安定的な資源循環システムの構築

が特に国内において求められるとともに、輸出国・輸入国の相互協力によって不適切な輸出入の防止と適切な国際リサイクルの促進を行うべきであるといえる。

英語概要

・ 研究課題名 =

“Analysis of material cycle systems for E-waste and waste plastics in Asia”

・ 研究代表者名及び所属 =

Atsushi Terazono (National Institute for Environmental Studies)

・ 共同研究者名及び所属 =

Aya Yoshida, Rie Murakami-Suzuki (National Institute for Environmental Studies), Shinsuke Murakami (University of Tokyo), Takayoshi Shinkuma (Kansai University)

・ 要旨 (200 語以内) =

In-depth domestic and international material flow analysis was carried out on the end-of-life home appliances, personal computers and waste plastics. Regarding home appliances, approximately 4.8 million units of secondhand were estimated to be exported in FY2007, and increasing export trend to the countries with weak import control was observed. With regard to personal computers recycling, the export for reuse purpose is expanding. But, shifting recycling responsibility of personal computers from municipalities to manufacturers gave the effect illustrating decreases of resource consumption and landfilling.

Concerning waste PET, we understood the domestic material flow and recycling in China. In China, insufficient crashed and washed flakes are often imported and few effluent treatment plants were observed.

In fall 2008, there were big decreasing trend of exports for waste plastics and secondary metals from Japan to China and other countries. Some analysis for international material cycles were implemented considering big economic changes for resources and scraps materials. We recognized the importance of stabilized recycling system especially in Japan and the promotion of sound international recycling with controlling inappropriate international trade.

・ キーワード (5 語以内) =

E-waste, waste plastics, material flow, secondhand use, resource potential