

平成 26 年度
環境研究総合推進費補助金 研究事業
総合研究報告書

「静脈産業の新興国展開に向けたリサイクルシステム
の開発とその普及に係る総合的研究」
(3K123002)

平成 27 年 3 月
慶應義塾大学 細田 衛士

補助事業名 環境研究総合推進費補助金研究事業（平成 24 年度～平成 26 年度）

所管 環境省

国庫補助金 60,227,000 円（複数年度の総計）

研究課題名 静脈産業の新興国展開に向けたリサイクルシステムの開発とその普及に係る総合的研究

研究期間 平成 24 年 6 月 8 日～平成 27 年 3 月 31 日

研究代表者名 細田衛士（慶応義塾大学）

研究分担者名 一ノ瀬大輔（立教大学）
斉藤崇（杏林大学）
関山健（明治大学）
染野憲治（（公財）東京財団）
中谷隼（東京大学）
山本雅資（富山大学）

委託先（技術開発実証研究） JFE 環境
DOWA エコシステム

研究協力者 佐藤一光（慶応義塾大学）
澤田英治（慶応義塾大学）

環境研究総合推進費補助金 研究事業 研究報告書概要

研究課題名 「静脈産業の新興国展開に向けたリサイクルシステムの開発とその普及に係る総合的研究」

研究番号 3K123002

国庫補助金精算所要額 60,227,000 円（複数年度の総計）

研究期間 平成 24 年 6 月 8 日～平成 27 年 3 月 31 日

研究代表者名 細田衛士（慶応義塾大学）

研究分担者 一ノ瀬大輔（立教大学）、斉藤崇（杏林大学）、関山健（明治大学）、染野憲治（（公財）東京財団）、中谷隼（東京大学）、山本雅資（富山大学）

研究目的

アジア新興国、特に中国では「集約型リサイクル団地の整備」による資源循環が積極的に進められているが、多くは「インフォーマルセクター」の存在等により環境保全及び静脈産業構築・育成の両面で課題が存在し、健全で円滑な資源循環がなされていない。

本研究では、アジア大での広域資源循環の急速な発展が予想されるなか、我が国の静脈産業がこのようなアジア新興国での資源循環に参入し、海外展開を進め、更には静脈メジャーとして発展していくために必要な条件として、主に中国及びタイを対象に廃棄物処理に関する基礎データを収集・解析し、市場特性・制度特性を考慮して経済的・技術的・環境的に競争力のあるアジア大のリサイクルシステム開発を視野に、(1)政策課題、(2)静脈物流及び処理システム、(3)技術開発実証の研究を行う。

研究方法

アジア新興国における経済発展のトップランナーである中国のリサイクルシステム構築に向けた日中の政策課題を具体的に把握し、詳細な検討を加えるとともに、その実現に資

する制度設計の在り方を先行的に示すことが、我が国の静脈産業の海外展開及びメジャー化に道筋をつける上でも重要な研究課題となるものと考えられる。

特に静脈産業が未成熟な中国では、ロジスティクス面での改善余地が大きく残されており、静脈物流及び処理システム研究の推進も重要な研究課題として位置づけられる。また、中国と一人当たり GDP で同程度のタイについても調査研究を行うことで、日本、中国、タイの三カ国の比較考察を行う。

さらに我が国の静脈産業は高度な技術を有する反面、新興国側の処理技術に対するニーズは多岐に亘っており、且つスケールメリットを優先する処理手法が優先されるという点でニーズとシーズの齟齬が見られる。こうした問題を解決する上でも、処理技術・システムの現地化を前提とした開発実証は、前述の課題とともに重要課題となる。

結果と考察

1. 調査結果

中国及びタイにおける(1)廃棄物の発生及び処理の状況、(2)廃棄物に関する政策、制度、(3)静脈産業の現状の3点について調査結果をまとめた。その上で、日本、中国、タイの三カ国を対象にリサイクル制度の比較を行った。

この結果、アジア新興国においてはハードロー、ソフトロー、ガバナンスの三位一体による制度的インフラストラクチャーが不足していることが判明した。

次に実証技術開発として(1)日本の高度技術の現地へのスムーズな移転について『廃蛍光灯希土類含蛍光粉高効率回収』等リサイクル技術の現地カスタマイズ化のための技術開発並びに実証事業」を、(2)現地技術の導入によるコストダウンでの市場参入について『電機電子機器類からの有価金属回収』等リサイクル技術の現地カスタマイズ化」を行った。

(1)については、現在の中国市場で日本の技術を導入することは経済面などの理由から難しく、この場合、集荷が見込め、一定規模以上で事業化できる廃棄物と組み合わせた複合的リサイクルビジネスを検討する必要性があることを確認した。また、(2)については、再生資源化の効率性、環境保全対策など総合的システムという点では日系静脈企業に一日の長が認められるなか、さらに現地技術を導入することにより日系静脈企業の競争力強化につながる可能性を確認した。

2. 考察

はじめに、廃家電製品を例にとり、アジア新興国における静脈資源の潜在的な資源性と潜在的な汚染性に関する2030年までの推移を分析した。結果として両者のピークは時期がずれることが判明した。このため、短期的な課題としては廃棄物処理プロセスにおける金

属の環境中への排出抑制については CRT テレビの廃棄量がピークに近づくまでに対策が求められ、特に現時点（2015 年）でピークを過ぎたタイでは喫緊の課題であること、中長期的な課題としては CRT テレビと FPD テレビを合わせた廃棄量がピーク付近にある 2020～2030 年ごろまでは、リサイクル技術の開発・導入・整備を推進する意義は大きいことが確認された。

次に、リサイクルに関する Formal Sector と Informal Sector の関係について理論及び実証的分析を行った。理論的分析では、(1)ハードローによる Informal 対策は一定の効果を持つが、制度設計には状況に合わせた工夫が必要であること、(2)Formal 化政策も常に社会的な厚生を上昇させるわけではなく、場合によっては厚生を悪化させる場合もあるという帰結が得られた。また、実証的分析ではハードローが先行する中国、ソフトローが先行するタイについて現状と課題を整理した。

さらに、廃棄物の回収とリサイクルプラントの立地について理論及び実証的分析を行った。理論的分析では、(1)プラントの最適な立地はリサイクル率に応じて変化すること、(2)リサイクルに伴う汚染を考慮する場合、最適な立地は地域の中心部から離れること、(3)汚染を考慮する場合の政策として、リサイクル品の売上げやリサイクル活動に対する課税のほか、各家計からの廃棄物の収集に対しても課税をおこなう必要があることを明確化した。また、実証的分析では中国における静脈資源の発生地と集散地、リサイクルプラントの配置の関係性について、理論的分析の結果も踏まえて考察した。

最後に、静脈物流システムに関する分析を行った。第一に、Formal Sector と Informal Sector が混在する場合のように、法令を遵守しない Informal の限界費用が小さい場合はマーケットシェアに差異が発生し、その差異は静脈物流コストが小さければ小さいほど、大きくなっていくことが明らかになった。第二に、日中間の循環資源について時系列分析の方法に従って解析を行った結果、鉄と銅のスクラップは経済要因による影響を強く受けることが判明し、これにより景気低迷期には汚染削減費用への投資を適正に行っている Formal Sector の集荷競争力を低下させ、Informal Sector へ集荷がシフトしていく可能性があることを示唆した。但し、アルミニウムについては同様の結果が得られず、静脈資源の流出問題への対処のためにも静脈物流コストに関する分析対象データを拡充し、詳細な分析を進める必要性を確認した。

環境政策への貢献

本研究による環境政策への貢献としては以下のとおり。

- (1) 知見の共有

本研究により得られた知見は新聞、雑誌などのメディア、公開研究会の開催などにより行政関係者も含め広く社会で共有している。特に、英国の出版社（Routledge, Taylor and Francis Group）で東アジアにおける廃棄物管理の経済学に関する書籍（“Economics of Waste Management in East Asia”）を、中国の出版社（中国標準出版社）で日中の資源再生産業に関する書籍（「中日再生資源産業発展戦略研究」）を出版する予定（本書は日本での書籍化についても日本の出版社と交渉中）であり、国内のみならず国外での知見の共有にもつながるものと考えている。

また、平成 26 年 12 月には北京にて中国の家電リサイクル法を担当する中国環境保護部の固体廃棄物管理センターと、平成 27 年 2 月にはバンコクにてタイの家電リサイクル法の策定に携わっているチュロンコン大学と家電リサイクル等に関する学術交流会を行った。特に中国については国際協力機構（JICA）とも協力をして開催をしたもので、同機構において検討している技術協力プログラムにも資するものとして、対中環境協力の一助ともなった。

さらに、研究代表（細田衛士）は平成 24 年度環境省請負事業「平成 24 年度電気・電子機器廃棄物等の国際循環に関わる調査検討業務」の座長を務めており、同業務においても本研究により得られた知見をインプットした。

（2） 人的ネットワークの構築

本研究を通じて幅広い人的ネットワークも構築された。中国においては環境保護部や国家発展改革委員会などの政府機関、天津子牙・大連庄河・唐山曹妃甸などの工業園區、中国における有力な資源回収団体であり中国政府傘下にある中国物資再生協会及び中国再生、格林美などの有力企業など、タイにおいては工業省や家電リサイクル法の制定に関わるチュロンコン大学などとの交流により、日本の知見のインプットや中国及びアジア新興国の廃棄物処理状況、廃棄物処理制度、静脈市場形成、静脈取引慣行、物流・マテリアルフローに係る実態、課題など、我が国の静脈産業が海外展開を進めていくための基礎的で有用な情報の収集を行なった。特に中国物資再生協会からは日中の静脈産業に関する研究者・機関、企業、団体等の交流プラットフォームの構築について提案を受けており、今後ともトラック 2（民間）による研究・企業交流の推進が期待される。

また、日本においても（公財）東京財団の協力により、産学官の有識者らによる中国環境ビジネス研究会を開催し、日系静脈メジャーが中国をはじめとする途上国でビジネスを行うための産学官連携ネットワーク（資源循環に関する研究関係者、国内外の静脈産業・団体・政府関係者等）を構築した。

（3） 静脈ビジネス展開のための戦略の提示等

収集した情報を解析し、静脈ビジネス展開のための戦略及び行政施策を提示した。特に

日中韓モデル工業園区の候補とされている天津子牙・大連庄河・唐山曹妃甸に加え、その他のフォーマル、インフォーマルな工業園区を訪問することにより理論及び実証的視角から優位性の比較を行った。

また、静脈産業が海外展開する場合のリサイクルシステムを構築する上で必要となる普遍的・共通的な課題について、日本及び中国の企業への訪問と意見交換によりビジネスの現場の実態に即した研究を行い、アジアにおける環境ビジネスの展開のための戦略・外交政策を提示した。

研究成果の実現可能性

本研究により得られた知見は、日本のみならず中国、タイにおける政策へのインプットという形で実用化されている。また、技術開発実証研究により、日本のリサイクル技術を、中国及びアジアの現地でビジネスレベルでの実用化とするためのカスタマイズ化、経済性に関する検証を行うことができた。

結論

本研究により、現状では日系静脈企業のアジア新興国への進出可能性については容易ではなく、その理由として内（日本）及び外（新興国）の両方に課題があることが明らかとなった。

日本の静脈産業の発展の背景には、一定の市場規模が存在したこと、ハードロー、ソフトロー、ガバナンスの三位一体による制度的インフラストラクチャーが存在したことがある。他方、新興国においては今後の市場規模が拡大していく潜在性はあるものの、制度的インフラストラクチャーの整備が遅れている。日本としては新興国に対してハードロー、ソフトロー、ガバナンスのいずれが不足しているかを見極め、環境協力による改善及び各国の自助努力を求めていくことが重要である。

また、日本の静脈産業政策についても見直しの時期に来ている。日本の静脈資源の回収量が今後、大幅に増加していくことは望めない。また、外国資本の静脈企業が日本へ進出してくる事例も確認されている。日系静脈企業は中国企業と比較しても資本規模などの面で体力的に見劣りしており、既存の静脈企業をすべて守るのか、新興国展開が可能となる規模の静脈企業に集約化していくのか方針を選択し、その方針に基づき静脈産業に関する制度の見直しを行うことも必要である。

目 次

総合研究報告書概要	2
本文	
1. 研究背景と目的	8
1.1 研究背景	8
1.2 研究目的	8
2. 研究方法	8
3. 結果と考察	9
3.1 調査結果	9
3.1.1 中国の廃棄物等に関する状況	9
3.1.2 タイの廃棄物等に関する状況	16
3.1.3 アジアにおけるリサイクル制度の比較	20
3.1.4 実証技術開発	26
3.2 考察	52
3.2.1 廃家電製品に由来する潜在的資源性及び潜在的汚染性の評価：アジア新興国における将来予測と比較分析	52
3.2.2 リサイクルに関する Formal Sector と Informal Sector の関係	66
3.2.3 廃棄物の回収とリサイクルプラントの立地	80
3.2.4 静脈物流システムに関する分析－廃棄物貿易の分析	97
4. 結論	107
4.1 日系静脈企業のアジア新興国への進出可能性	107
4.1.1 日系静脈企業のアジア新興国への進出における課題	107
4.1.2 事例分析：中国市場への進出可能性	109
4.2 政策提言	113
4.2.1 日本	113
4.2.2 中国	114
4.2.3 タイ	115
4.2.4 まとめ	115
5. 研究発表	116
6. 知的財産権の取得状況	119
研究概要図	119
英文概要	120

本文

1. 研究背景と目的

1.1 研究背景

アジア新興国、特に中国では「集約型リサイクル団地の整備」による資源循環が積極的に進められているが、多くは「インフォーマルセクター」の存在等により環境保全及び静脈産業構築・育成の両面で課題が存在し、健全で円滑な資源循環がなされていない。このようななか、我が国の静脈産業の海外展開及びメジャー化に道筋をつける方策が求められている。

1.2 研究目的

本研究では、アジア大での広域資源循環の急速な発展が予想されるなか、我が国の静脈産業がこのようなアジア新興国での資源循環に参入し、海外展開を進め、更には静脈メジャーとして発展していくために必要な条件として、主に中国及びタイを対象に廃棄物処理に関する基礎データを収集・解析し、市場特性・制度特性を考えて経済的・技術的・環境的に競争力のあるアジア大のリサイクルシステム開発を視野に、(1)政策課題、(2)静脈物流及び処理システム、(3)技術開発実証の研究を行う。

2. 研究方法

アジア新興国における経済発展のトップランナーである中国のリサイクルシステム構築に向けた日中の政策課題を具体的に把握し、詳細な検討を加えるとともに、その実現に資する制度設計の在り方を先行的に示すことが、我が国の静脈産業の海外展開及びメジャー化に道筋をつける上でも重要な研究課題となるものと考えられる。

特に静脈産業が未成熟な中国では、ロジスティクス面での改善余地が大きく残されており、静脈物流及び処理システム研究の推進も重要な研究課題として位置づけられる。また、中国と一人当たり GDP で同程度のタイについても調査研究を行うことで、日本、中国、タイの三カ国の比較考察を行う。

さらに我が国の静脈産業は高度な技術を有する反面、新興国側の処理技術に対するニーズは多岐に亘っており、且つスケールメリットを優先する処理手法が優先されるという点でニーズとシーズの齟齬が見られる。こうした問題を解決する上でも、処理技術・システムの現地化を前提とした開発実証は、前述の課題とともに重要課題となる。

なお、本研究は現場踏査や実務家との交流、理論及び実証による分析と提言といった実証・実務・戦略・政策的側面を持ち、実践的政策的な研究という独創的な点を有している。

(1) 政策課題研究

現地調査と先行研究のサーベイにより研究フィールドとなる中国及びタイを中心として廃棄物処理の現状把握を行う。特に、現状で発生している問題点や循環資源の排出状況、静脈産業などに関する整理を行うとともに、法制度及び運用実態についても把握し、これらが地域の静脈経済活動の形成へどのような影響を与えているかを解析するための基礎的な情報の収集を行うことを目標とする。

(2) 静脈物流及び処理システム研究

現地調査と先行研究のサーベイにより中国における静脈物流及び処理の現状把握を行う。特に、現状で発生している問題点や静脈資源の収集を行っている事業者及び処理事業者の経営構造、静脈物流におけるフォーマルセクターとインフォーマルセクターの関わり方、廃プラ、廃金属など収集されている代表的品目・資源とその範囲、回収ルートを決める要因（制度・距離・価格等）に関する整理を行うことで、効率的な静脈物流システムを検討するための基礎的な情報の収集を行うことを目標とする。同時に、環境負荷分析の基礎となるデータとして、中国及びタイにおける廃家電製品の今後の排出予測、静脈プロセスの環境負荷などを分析する。

(3) 技術開発実証研究

日本のリサイクル技術を、中国及びアジアの現地でビジネスレベルでの実用化とするためのカスタマイズ化の実証研究として、日本の高度技術の現地への移転を検討する(1)「廃蛍光灯希土類含蛍光粉高効率回収」等リサイクル技術の現地カスタマイズ化のための技術開発並びに実証事業、現地適応型技術によるコスト削減を検討する(2)「電機電子機器類からの有価金属回収」等リサイクル技術の現地カスタマイズ化のための技術開発並びに実証事業の2類型を実施する。具体的品目としては前者は「水俣条約」により今後規制強化されるであろう蛍光灯、後者は家電リサイクル法が開始された家電5品目を対象とする。

3. 結果と考察

3.1 調査結果

本章では、中国及びタイにおける静脈経済に関する状況、新興国展開において有益な技術開発実証研究などに関する調査結果を整理する。

3.1.1 中国の廃棄物等に関する状況

近年、急速な経済成長を遂げてきた中国では、経済格差、社会保障など様々な問題が発生しており、環境問題もその一つとして挙げられる。なかでも廃棄物問題は深刻になりつ

つあり、廃棄物の排出量の増加、家電やパソコン、自動車の普及による廃棄物排出組成の変化への適正処理の対応などが喫緊の課題となっている。特に経済成長を進めつつ環境も保全する「循環経済」は重要な環境課題の一つである。

3.1.1.1 廃棄物の発生及び処理の状況

中国では、固体廃棄物のうち、工業固体廃棄物（産業廃棄物）は環境保護部（MEP: Ministry of Environment Protection）が所管し、家庭からの生活ごみ（一般廃棄物）は住宅都市農村建設部（MHURD: Ministry of Housing and Urban-Rural Development）が所管している。

中国の工業固体廃棄物の発生量は近年急速に増加しており、2013 年で約 33 億トンとなっている。1993 年は約 6 億トン、2003 年は約 10 億トンであったので、20 年前から 10 年前の 10 年では 2 倍以下の増加であったのが、この 10 年では 3 倍以上増加した計算になる。工業固体廃棄物の総合利用率は 2013 年で 62.8%、最終的に埋立に回る工業固体廃棄物排出量は 8 億 2969 万トンである。2003 年の総合利用率は 55.8%、埋立量は 1 億 7751 万トンであり、この 10 年での総合利用率の向上は 7%程度にとどまるが、埋立量は発生量の増加率を越える 4 倍以上となっている。

生活ごみの発生量についても人口増加、経済成長などに伴い、着実に増加しているが、工業固体廃棄物に比べれば、その伸びは穏やかで、2013 年度の発生量は約 1 億 7239 万トンとなっている。1993 年は 8791 万トン、2003 年は約 1 億 4857 万トンであり、日本の 2012 年度の一般廃棄物排出量（約 0.45 億トン）と比較すると 4 倍近くとなる。

中国は生活水準の向上などにより、廃棄される製品についても変化が生じている。中国の公益団体である中国物資再生協会によれば 2013 年に回収された自動車は 135 万台、オートバイは 53 万台、廃棄されたテレビは 3850 万台、冷蔵庫は 1279 万台、洗濯機は 1265 万台、エアコンは 1830 万台、パソコンは 3206 万台に上るという¹。

中国における資源回収の歴史を眺めると 1949 年に中国共産党が成立し、静脈資源の回収、利用は 2 つの部門が管理することとなった。一つは生産活動に伴い発生するもので、これは工業原材料及び生産資材の流通を担当する物資管理部門（国務院に所属する物資総局、後の物資部）が、もう一つは生活に伴い発生するもので、これは商業部門（商業部の下部機関である供銷合作社：購買及び販売協同組合）が管理を行った。1984 年より計画経済から市場経済への移行が始まると、静脈資源の回収、利用もその影響を受けた。静脈資源の回収産業でも民営化が進み、1993 年の第八次全国人民代表大会第 1 次会議で物資部及び商

¹ 中国物資再生協会（2014）「中国再生資源行業發展報告（2013-2014）」中国財富出版社, pp61 及び pp77, 中文

業部が廃止されたのである。2002 年に国は静脈資源の特殊産業経営許可制度を廃止し、静脈資源の回収市場は完全に開放された。

現在、中国の主要なリサイクル団体には中国物資再生協会と中国再生資源回收利用協会があるが、前者は物資部、後者は商業部及び供銷合作社の流れを引いている。ただし、静脈資源の種類や排出源が多様化するなか、両会の対象資源や会員企業などは重複しつつあり、主な差異は前者は会員（企業）数 1200 社/人、国務院国有資産監督管理委員会の監督の下、報告書や政策提言の作成など研究活動に強み、後者は会員（企業）数 500 社/人、中華全国供銷合作總社の監督の下、展示会などイベント開催に強みがあるといった点になる。

3.1.1.2 廃棄物に関する政策、制度

中国では、廃棄物や使用済みになった製品・部品・素材など（以下「静脈資源」と呼ぶ）の発生状況に対し、静脈資源を回収、処理するための立法の整備、適切な法制度的な対応が追いついていない。2014 年 4 月には「環境保護法」の改正が行われ、国は清潔生産（クリーン生産：Cleaner Production）や資源の循環利用を促進すること（法第 40 条）、地方政府が廃棄物の分別、回収を行うこと（法第 37 条）などが規定された。今後、同法の改正を踏まえ、法制度の整備が進むことも予測されるが、これまでのところ静脈資源に対する法律は 1995 年に公布された「固体廃棄物環境污染防治法」、2002 年に公布された「清潔生産促進法」、2008 年に公布された「循環経済促進法」の 3 つのみであり、これらの法律に対応する下位の行政法規、部門規章の整備も遅れている。

中国は 5 年毎に国家計画を策定しており、2011 年 3 月 16 日に公表された最新の「国民経済及び社会発展に関する第 12 次 5 カ年規画」²では、静脈産業と循環経済政策について、独立した章を立てて位置づけている。

同規画の第 3 篇第 10 章「戦略的新興産業の発展育成」において、戦略的新興産業として省エネルギー・環境保護産業、バイオテクノロジー産業などの 7 業種を位置づけ、このうち省エネルギー・環境保護産業の発展工程として、先進的な環境保護及び資源循環利用の産業化などを挙げている。

循環経済政策については、同規画の第 6 篇「綠色發展、資源節約型・環境友好型社会の建設」の第 23 章で「循環経済の発展強化」を掲げている。同章は第 1 節「循環型生産方式の推進」、第 2 節「健全な資源循環利用回収体系」、第 3 節「グリーン消費モデルの推進」、第 4 節「政策強化と技術支持」の 4 節から成る。第 1 節では工業固体廃棄物の総合利用率を 72%にすること、循環経済の規則に則り産業園區を建設・改造すること、資源産出率（GDP/

² 中国政府網「国民経済和社会発展第十二次五年規画綱要（全文）」2011 年 3 月 16 日、中文 http://www.gov.cn/2011lh/content_1825838_2.htm

資源投入量)を15%高めること、第2節では都市の社区(住居区)及び農村の資源回収ステーション、分別ステーション、再生資源集荷市場の三位一体の回収ネットワークの建設やごみ分別回収制度の建立、第3節では中国の国情にあったグリーン生活方式及び消費モデルの形成として、省エネ・節水商品、省エネ環境保全型自動車及び省エネ・土地節約型住宅の購入・使用、使い捨て製品の減少、過剰包装の制限、不合理な消費の抑制、政府のグリーン購入、省エネ・節水製品及び再生利用商品の比率増、第4節では財政・税制・金融面の政策支持、法律・基準の策定、拡大生産者責任(EPR: Extended Producer Responsibility)の実行や再生産品の表示制度、循環経済統計評価制度、さらに「国家循環経済モデル」の深化、循環経済「十百千モデル」行動の実施³、また、後述する循環経済試点の推進などが記されている。

さらに2013年1月23日、国務院は「循環経済発展戦略及び短期行動計画」を發布し、これらの取組を具体化、深化させ、循環型工業体系、農業体系、サービス業体系の構築、経済、法規などの政策の推進などを掲げている⁴。

次に、中国における循環経済に関する法体系を見ると、廃棄物の適正処理、すなわち「環境保全の観点」からの法律と、静脈資源の3R、すなわち「省資源の観点」からの法律に2分される。全国人民代表大会で審議をされる法律としては、前者については、1995年に制定された「固体廃棄物環境污染防治法」がある。同法で扱う廃棄物については、さらに工業固体廃棄物、生活ごみ、危険廃棄物の3つに分かれる。後者については2002年に制定された「清潔生産促進法」と2008年に制定された「循環経済促進法」がある。

同法の下で、国務院で定められる国務院令としては、廃棄物の適正処理に関するものとして生活ごみに関する「城市市容・環境衛生管理条例」(1992年)⁵、危険廃棄物に関する「危険化学品安全管理条例」(2002年)、「医療廃棄物管理条例」(2003年)、「危険廃棄物事業許可証管理方法」(2004年)などがある。これら生活ごみ、危険廃棄物の国務院令の下には、国務院関係部門が制定する部門記章として「城市生活ごみ管理弁法」⁶、「廃棄危険化学

³ 国家発展改革委員会が主導する循環経済に関する10の大型プロジェクトの推進、100の循環型経済モデル都市と1000の循環型経済モデル企業の育成により循環経済を推進するプロジェクト。

⁴ 中国政府網「国務院關於印發循環經濟發展戰略及近期行動計劃的通知」国發〔2013〕5号,2013年2月5日,中文
http://www.gov.cn/zwgc/2013-02/05/content_2327562.htm

⁵ 住宅都市農村建設部 HP「国務院城市市容和環境衛生管理条例」国務院令〔1992〕101号,1992年6月28日,中文

http://www.mohurd.gov.cn/zcfg/xzfg/200611/t20061101_158934.html

⁶ 中国政府網「城市生活ごみ管理弁法」建設部令〔2007〕157号,2007年4月28日,中文
http://www.gov.cn/ziliao/flfg/2007-06/05/content_636413.htm

品汚染環境防治弁」などや、行政指導的な性格を有する通知（技術政策、管理規定など）がある。なお、中国においては城市市容・環境衛生管理条例が固体廃棄物環境污染防治法に先んじて制定されているように、現実の課題に対応するために法律より制定が容易な下位の法規が先行する状況も多々存在する。

静脈資源の 3R に関する国務院令としては、廃電器電子製品に関する「廃棄電器電子製品回収処理管理条例」（2009 年）⁷、廃自動車に関する「廃自動車回収管理弁法」（2001 年）⁸がある。これらの法規には明らかな差異がある。実際に条例が施行されている廃棄電器電子製品に関しては、同条例を執行するため家電製品の回収、再利用、汚染防止などに関しての部門記章なども整備が進んでいるが、法執行と実態が乖離している廃自動車に関しては、下部の規定の整備が進んでいない。

また、商務部は特定の製品を対象とするのではなく資源回収という「過程」に着目した「再生資源回収管理弁法」（2007 年）⁹を制定している。

以上の説明からもわかるように、このような複雑な法体系の下でどのように健全で円滑な資源循環を進めて行くかは課題の一つでもある。このような法体系となった背景には、不十分な国務院各部門の連携、いわゆる縦割り行政の存在がある。例えば、前述のとおり廃棄物行政に関する所管は廃棄物の類型により環境保護部及び住宅都市農村建設部となるが、より細分化すると工業固体廃棄物については環境部門及びマクロ経済部門が担当、生活ごみについては建設部門が担当、危険廃棄物については環境部門が担当、静脈資源（3R）についてはマクロ経済部門が担当をしている¹⁰。また、静脈資源の発生、回収、再生・処理という流れで見ると、前述の 3 部門の他に、回収については商務部門、輸出入については税関部門及び輸出入検査部門、生産企業における廃棄物処理及び静脈資源回収については工業部門、研究・技術開発については科学技術部門などが関わることとなる。

⁷ 中国政府網「廃棄電器電子產品回収處理管理条例」国務院令〔2009〕551 号,2009 年 2 月 25 日,中文

http://www.gov.cn/flfg/2009-03/04/content_1250844.htm

⁸ 中国政府網「報廢棄車回收管理弁法」国務院令〔2001〕307 号,2001 年 6 月 16 日,中文

http://www.gov.cn/gongbao/content/2001/content_60919.htm

本法については現在、商務部にて改正案を検討中である。

⁹ 中国政府網「再生資源回收管理弁法」商務部ほか 6 部門共同令〔2007〕8 号,2007 年 3 月 27 日,中文

http://www.gov.cn/ziliao/flfg/2007-06/05/content_636413.htm

¹⁰ 3R も法制定時においては、清潔生産促進法は国家經濟貿易委員会が、循環經濟促進法は国家發展改革委員会が主管と分かれていた。国家經濟貿易委員会が 2003 年に解体され国家發展改革委員会などに吸収されたことで、いずれも国家發展改革委員会が所掌することとなった。

さらに、これらの所掌について錯綜する状況も見られる。例えば、廃電器電子製品については、当初は省資源化の観点で国家発展改革委員会による法制化の検討が進められていたが、2009年6月より景気対策の観点で商務部による「家電下郷」（家電製品の普及政策）が始まり、2012年1月より環境保護の観点で環境保護部による家電リサイクル制度が施行された。所管と目的が短期間のうちに揺れ動くことで、廃電器電子製品の価格変動など市場へも少なからぬ影響を与えている。このような低額の補助金政策は「見かけグッツ・実質バツズの廃棄物」を発生させている可能性があり、静脈の系統制御を複雑化させている¹¹。

もう一つの課題は、法制度が未整備な分野の存在である。日本における個別リサイクル法に該当するものは家電、自動車の2法のみであり、廃自動車についての法律は存在するが下部の法規は未整備であり、空文化に近い状況にある。既に2002年の「再生資源回收利用第十次五カ年規画」では廃電池、古紙、廃タイヤなどの物品に対する法整備の検討が指示されているが、10年以上を経た今も法制化はされていない。

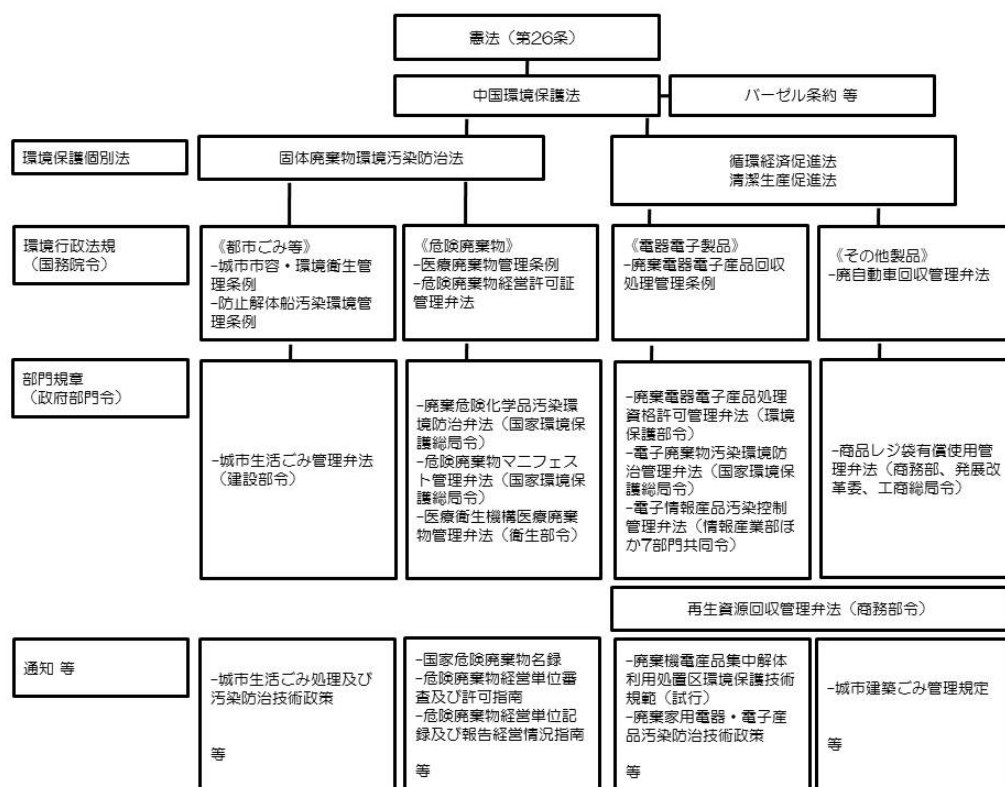


図1 中国の循環経済に関する法体系

3.1.1.3 静脈産業の現状

¹¹ 補助制度による問題について詳しくは細田・染野（2014）を参照。

業界団体の調査によれば、中国の静脈産業の規模は、2013年の資源回収量¹²が約1.6–1.64億トンで2005年の約2倍近くに増加、回収した資源の総価値は4817.1–5716億元、回収拠点は全国で20–30万カ所にのぼる。

全国で商工局に登録された回収企業は10–13.7万社、うち中規模以上の回収企業は1–1.2万社、回収従事者は1800–1850万人、うち無許可の個人経営者が1100万人とされている。企業の80%及び就業者数の75%は民営企業、回収企業は華東地区（上海市、山東省、安徽省など）、華南地区（広東省など）及び西南地区（四川省、重慶市など）に集中しており、全国の約80%を占めている。

このような中国の静脈産業には多くの課題が山積している。

第1に回収業者の大半は無許可の個人経営者であるため、回収作業が法的にも商慣行的にも無秩序である。この裏返しとして正規の大企業では十分な量の資源回収ができないという問題が引き起こされている。第2に登録された企業のうち中規模以上の企業が1割程度と全体的に小規模の業者が多くいため、扱うロットが小さく、回収効率が低い。第3に総じて処理・リサイクルの技術水準が低くいため、良質な静脈資源でも低質の再生品・再生資源しか得られない。また、無許可の小規模企業はリサイクルの技術水準が低いのみならず環境対策も講じていないため、廃電器電子製品などの重金属や化学物質を含む循環資源に対して、野積み、乱雑な解体、溶液を使用した部品取りなどを行い、深刻な環境汚染を引き起こす例が見られる。第4に中間流通業者による投機的転売や複数地域・複数回収拠点への輸送により汚染の拡散・拡大がもたらされている。静脈産業の発展のためには、まずは再生資源の回収利用体系の整備が必須である。法制度の整備などにより静脈産業をフォーマル化していくことができるかが課題となっている。

なお、近年の中国では静脈産業が集約化される傾向が見られ、企業の大規模化が進んでいる。このような資金力のある大企業では欧州などより最新の機器・設備を導入しており、ハード面での処理・リサイクルの技術水準は先進国と遜色がない。また、機動力のある小規模な回収業者を取り込み、静脈資源の回収は彼らに委ねながら、再資源化の加工工程は環境対策が整った自社工場で行うという分業も進めている。

（参考文献）

中華人民共和国国家統計局編（1986–2014）「中国統計年鑑」中国統計出版社、中文。

中国物資再生協会（2014）「中国再生資源行業発展報告（2013–2014）」中国財富出版社、

¹² 中国物資再生協会は廃鉄鋼、廃非鉄金属、廃プラスチック、古紙、廃タイヤ、廃電器電子製品、廃船舶、廃自動車の8品種で1.6億トン、中国再生資源回收利用協会はこれに廃ガラスを加えた9品種で1.64億トンとしている。

中文.

中国再生資源回收利用協会,清華大学環境学院 (2014)「2014 中国再生資源行業發展研究報告」中国再生資源回收利用協会,中文.

染野憲治(2014)「中国の静脈産業と循環経済政策」信山社『環境法研究』第2号, pp93-115.

染野憲治 (2011)「循環経済に向けた中国の取組み」(一財) 日中経済協会『日中経協ジャーナル』 No.211, pp16-19.

染野憲治 (2014)「中国の環境規制の動向と日本の進路」(一財) 日中経済協会『日中経協ジャーナル』 No.251, pp18-21.

細田衛士,染野憲治 (2014)「中国静脈ビジネスの新しい展開」北海道大学『経済学研究』 Vol.63, No.2, pp13-27.

染野憲治 (2014)「動脈と静脈が織り成す中国内陸経済の変化」(公財) 東京財団『Views on China』 No.2,pp79-88.

3.1.2 タイの廃棄物等に関する状況

東南アジアの中では早くから工業が発達してきたタイでは、特に近年、目覚ましい経済発展とともに環境問題も深刻さを増してきている。例えば、工業団地からの排煙や自動車の排出ガスなどにより、工業団地の周辺地域や大都市では大気汚染が進行しているほか、チャオプラヤ川をはじめとする都市部を流れる河川や都市部の水路では、水質悪化が進んでいる。増大する廃棄物の管理も、近年タイが直面する重要な環境課題の一つである。

3.1.2.1 廃棄物の発生及び処理の状況

タイでは、廃棄物のうち、産業廃棄物は工業省工業事業局 (DIW : Department of Industrial Works) が所管し、家庭からの一般廃棄物は天然資源環境省公害管理局 (PCD : Pollution Control Department) が所管している¹³。

産業廃棄物の発生量は年間約 2600 万トン程度である。このうち、約 9 割が非有害廃棄物 (non-hazardous waste) であり、うち約 87%がリユース・リサイクルされ、約 9%が埋め立て処分される。残る約 3%は輸出され、主に廃バッテリーがオランダに輸出されているという。一方、有害廃棄物 (hazardous waste) については、焼却処理で 15%が減量され、適正に埋め立てられるのは排出量の 16%程度とみられる。

家庭から排出される一般廃棄物の年間総排出量は約 1600 万トンであり、このうち約 20%

¹³ 本項「3.1.2.1 廃棄物の発生及び処理の状況」に記載する廃棄物データは、天然資源環境省公害管理局からの聞き取り (2014 年 10 月、於：タイ・バンコク) に基づく。

がりサイクル（エネルギー回収を含む）されているという。家庭から出る廃電気電子機器のうち、家電などの年間総排出量は約 40 万トンと推計され、蛍光灯などの有害電気電子機器廃棄物は 15 万トン程度と推計される。

民間リサイクル業者を信用しない市民は、電気電子機器廃棄物の処分に困り、結果として、総排出量の約 3 分の 1 は家庭内に滞留しているものとみられる。実際、我々がヒアリングを行った公害管理局担当官も、使用済みとなったブラウン管モニター（CRT）を持ち込む場所なく自宅に保管しているとの話であった。残る 3 分の 1 の電気電子機器廃棄物は、不法投棄あるいは輸出されているものと見られる。特に、こうした電気電子機器廃棄物処理の課題としては、一般の電気電子機器廃棄物と有害電気電子機器廃棄物が混在した状態で野積み（open dumping）され、その量を減らすため野焼きが行われていることだと考えられる。

こうした状況にあるタイにおいて、廃棄物の適正処理とリサイクルを普及していくためには、分別排出や適正処理の重要性に関する教育が何より重要であると考えられる。我々がヒアリングを行った国連環境計画（UNEP）アジア事務所のプログラム・オフィサーも、タイをはじめとする東南アジア諸国の廃棄物政策上の最大の課題として、分別という概念が全く浸透していないことを指摘していた。実際、タイでは、多くの家庭ではゴミ箱は一つしかない。これがリサイクルを困難にしている。こうした状況に対して、地方自治体レベルでは、担当者や学校での教育活動が頻繁に行われるようになっているほか、民間リサイクル業者の中にも、自治体と協力して、地域住民に対する環境教育や啓発活動に積極的に取り組む Wongpanit 社のような企業が存在する（SANG-ARUN et al. 2013）。また、後述のとおり、リサイクル法はまだ施行されていないが、一部の有害廃棄物（蛍光灯、携帯電話、廃バッテリーなど）では、自主的な引き取り協力が進みつつあり、市民の環境健康意識の高まりによって、タイにおける廃棄物処理の状況も今後改善していくものと期待される。

3.1.2.2 廃棄物に関する政策、制度

タイでは、早くも 1975 年には環境基本法が制定され、1992 年にはこれを刷新した新たな国家環境保全推進法が制定された。特に近年は、都市化や工業化に伴い、水質汚染や大気汚染、廃棄物汚染など様々な環境問題が噴出してきており、近年では市民の環境に対する意識も高まりを見せている。

しかし実際の環境対策は決して進んでいる状況とは言えず、1992 年の国家環境保全推進法も、何度も改正が議論されながら一度も改正されないまま現在に至っている。廃棄物管理やリサイクル規制に関しても、これに特化した法律は未だ制定されておらず、主に下表にまとめたとおり、周辺の関連法及び下位法令が廃棄物管理に関わっている。

すなわち、タイにおいては、主に有害物質の管理については一応の規制がなされているものの、リサイクル規制については未整備である。つまりタイの廃棄物リサイクル規制は、日本などの先進国はもとより、同程度の経済社会発展水準にある中国と比較しても、規制対象の範囲や環境負荷の低減という点で不十分な面を残しているという事である。

ただし、現在タイ政府は、3つのリサイクル関連法制定を準備しているところである¹⁴。3つの法律とは、1) Basic Recycling Law、2) Solid Waste Management Law、3) WEEE Management Law である。このうち、特に Basic Law については、既に起草作業を終えており、軍事政権の下で早期の施行が期待される。Basic Law では、拡大生産者責任の概念に基づく制度構築がなされるとともに、補助金などの経済措置によって適正処理を促していく方向とされる。

表 1 タイの主な廃棄物関連法令

国家環境保全推進法	環境基準や環境計画の策定、モニタリング等に関する管理について規定する環境基本法。廃棄物管理についても規定している。
公衆衛生法	一般廃棄物や感染性廃棄物、排泄物等の管理について規定している。家庭から排出される有害な廃棄物についても、本法に基づいて管理されなければならない。
工場法	工場の操業を規制する法律であり、下位法令によって、産業廃棄物及び産業有害廃棄物の管理方法が詳しく定められている。ただし、工場敷地内のオフィスや住宅、食堂から排出される廃棄物については、適用対象外。
有害物質法	有害物質の管理方法について定める法律。本法に基づく有害物質リストには、有害廃棄物が掲載されており、これらの有害廃棄物は、有害物質法に基づく有害物質として管理することが求められている。マニフェスト制度は、本法の下位法令によって定められている。

出典) 梅山研一編(2011), pp. 28。

3.1.2.3 静脈産業の現状¹⁵

一般廃棄物の回収においては、民間リサイクル業者（いわゆるジャンクショップ）が重要な役割を担っている。リサイクル業者には登録制度があり、現在約 5,000 社が登録してい

¹⁴ リサイクル関連法の準備状況に関する本項の記述は、天然資源環境省公害管理局からの聞き取り（前出）に基づく。

¹⁵ タイ静脈産業の現状に関する本項の記述は、工業省工業事業局からの聞き取り（2014 年 10 月、於：北九州）に基づく。

るが、未登録のインフォーマルなリサイクル業者も数多く存在しており、環境汚染や健康被害の影響を顧みない不適正な処理を行っているものと見られる。

廃電気電子機器を例にとって言えば、その約 3 分の 1 が民間リサイクル業者に引き取られている。しかしながら、タイには電気電子機器廃棄物を適正処理できる業者がほとんどいないため、これらは不適正処理されている可能性が極めて高い。業者の中には、処理費をもらって電気電子機器廃棄物を引き取ったり、再利用すると偽って輸入したりして、国内で不適正処理を行う事例もみられる。バンコク市内から約 30km 離れた町にある寺院では、このように回収された電気電子機器廃棄物のオークションが行われており、周辺にはインフォーマルなリサイクル企業が集積している。なお、有害電気電子機器廃棄物も大半が民間リサイクル業者によって不適正処理されていると見られるが、蛍光灯については東芝が自社製品の引き取りと適正処理を行っており、現地でも評価されている。

廃棄物処理業者は、工業省工業事業局の許可がなければ産業廃棄物を取り扱うことができない。中でも、General Environmental Conservation (GENCO)社が独占的なシェアをもって活動している。GENCO は国有企業ではないが、国主導でつくられた国策企業であり¹⁶、技術は十分であるが処理費が高いという評判が日系企業から出ている（佐々木 2008; 197）。

地域住民に対する環境教育や啓発活動に積極的に取り組むことで注目される Wongpanit 社は、主として家庭から一般廃棄物を集めているが、企業からも有価物を集めてリサイクルしている。ただし、Wongpanit 社は産業廃棄物処理の許可を受けていないため、一定規模以上の企業は、工業事業局の規制により同社へ廃棄物処理を任せることができない。

廃棄物の輸出としては、水銀を処理する施設がタイ国内にないことから、水銀を含む廃棄物はオランダに輸出して処理を依頼している。輸入は、中古家電が主体であり、再利用されるものが多い。

（参考文献）

梅山研一 編（2011）、『タイ環境法体系ガイド』、EnviX。

環境省、『環境白書』、各年度版。

佐々木創（2008）、「タイにおける産業廃棄物処理とリサイクルの現状」、小島道一編『アジアにおけるリサイクル』、第 5 章、pp.193-224、アジア経済研究所。

SANG-ARUN, Janya et al (2013), *Promoting recycling in municipal solid waste management through suitable business models: Improving the supply chain for recyclables*, Commissioned

¹⁶ 工業省工業事業局からの聞き取り（前出）によれば、法的に定められている訳ではないが、GENCO は profit の 30%を工業事業局に納めているとのこと。

3.1.3 アジアにおけるリサイクル制度の比較

本研究では、東アジアの動脈静脈経済の中心である日本と、日本経済と結び付きの強い中国及びタイを取り上げて比較した。この三カ国のリサイクル政策の全体的状況が「最適資源循環レジーム」にどれほど近いのか、ハードロー、ガバナンス、ソフトローの各点について評価すると、その調査結果をやや大胆ながらまとめれば下表のとおりである。

表2 日本、中国、タイのリサイクル政策概況

政 策		日 本	中 国	タ イ
ハードロー	(1)経済重視型の費用増大	Good	Poor	Poor
	(2)環境重視型の効用増大	Poor	Good	Poor
ガバナンス	(3)監視・罰則	Good	Poor	Poor
ソフトロー	(4)教育・啓蒙	Fair	Poor	Fair

注：Good（良好な実施状況）＞Fair（改善の余地大）＞Poor（乏しい実施状況）

以下、これら3国のリサイクル政策の状況について、それぞれ概観してみたい¹⁷。

3.1.3.1 日本¹⁸

日本では、1960年代になると、経済の高度成長に伴う人口の都市集中と産業活動の発展によって、廃棄物の質の多様化と量の加速度的な増加が生じた。こうした状況において、1970年に制定されたのが廃棄物処理法である。同法は、廃棄物の排出抑制や適正処理などを通じて、生活環境の保全及び公衆衛生の向上を図ることを目的としており、そのために国民、事業者、国、地方公共団体が負うべき責務や、廃棄物処理のルール等について定めたものである。

その後も1970年代から1980年代を通じて、経済活動のさらなる活発化や国民のライフスタイルの変化などに伴い、廃棄物の発生量は増加を続け、その種類も多様化していった。一方で、廃棄物処理施設の確保はますます困難となり、また、廃棄物の増大が環境を損なうおそれについても広く認識されるようになり、廃棄物の不法投棄等の不適正な処理が大きな社会問題となるようにもなった。

このような状況に対応するため、1990年代以降、日本では、環境への負荷の低減のため、

¹⁷ 本項は、Sekiyama (2015)を加筆修正したものである。

¹⁸ 日本の廃棄物リサイクル規制の歴史的経緯に関する本節の記述は、環境省『環境白書』（昭和44年版～平成24年版）及びSekiyama (2013)を参照。

廃棄物のリサイクルと再生資源の回収・利用を促進する動きが政策面で見られるようになった。たとえば、1991年には、廃棄物の減量化や再生の推進、廃棄物の適正処理の確保などを主な目的として、廃棄物処理法が改正された。その後も廃棄物処理法は、廃棄物の種類や関連する問題の多様化に伴い、頻繁に改正が積み重ねられ、現在に至っている。

また、同じく1991年には、資源の有効活用、廃棄物の発生抑制及び環境の保全を図るために、再生資源利用促進法が制定された。同法は、主に企業におけるリサイクルの促進を目的としており、企業に対してその製品の設計段階から再生利用を考えて製品づくりを促すとともに、製造工程での再生資源の利用促進を求めるものであった。また、廃棄物の再生利用を促進するためには、アルミやスチールなど材質ごとの分別回収が必要となるため、再生資源利用促進法では、分別回収を容易にするために、材質表示のルールについても定められた。

こうした流れを受けて、1990年代には、容器包装リサイクル法及び家電リサイクル法が制定され、リサイクル対策の法整備が進んだ。容器包装リサイクル法（1995年制定）は、分別回収されたガラス瓶やペットボトルなどの容器包装廃棄物を原材料や製品として再商品化することにより、廃棄物の減量と資源の有効利用を図るものである。また、家電リサイクル法（1998年）とは、一般家庭や事務所から排出された家電製品（エアコン、テレビ、冷蔵庫、洗濯機など）から、有用な部分や材料をリサイクルし、廃棄物を減量するとともに、資源の有効利用を推進するための法律である。

このように1990年代まで日本の廃棄物リサイクルは、経済活動やライフスタイルの変化に伴い、廃棄物処理法などの個別の法律によって規制されてきた。しかし、個別法による場当たりの対策では廃棄物の発生量増大を食い止めることができず、廃棄物の最終処分場の確保が年々困難になっていった。また、不法投棄の増大などによる環境負荷の問題も複雑化していった。

そこで日本政府は、このような廃棄物リサイクル問題の解決のため、従来のリサイクル対策の更なる強化に加え、2000年代に入る頃からは、廃棄物の発生抑制及び再利用対策を本格的に実施するようになった。すなわち、①製品の省資源化・長寿命化等による廃棄物の発生抑制（reduce）対策、②回収した製品からの部品の再利用（reuse）対策、③事業者による製品の回収・再資源化の実施などリサイクル（recycle）対策の強化、という“3R”（=reduce、reuse、recycle）を総合的に講じようというものである。

まず2000年には、廃棄物リサイクル対策の基本的な法的枠組みを形成するものとして、循環型社会形成推進基本法を新たに制定した。同法は、廃棄物リサイクルに関する個別の法律に対して上位に位置する法律であり、①3R実施の法制化、②拡大生産者責任の規定、③政府による循環型社会形成推進基本計画の策定などについて定めている。

この基本法の制定とともに、個別の廃棄物リサイクル関連法が一体的に整備された。まず 2000 年には、再生資源利用促進法が抜本的に改正され、資源有効利用促進法へと名称も変更された。同法においては、廃棄物等の発生抑制の観点から、①製品（自動車、家電製品、パソコン、ガス・石油機器等）の製造に使用される原材料の削減、②耐久性の向上を図る設計、③部品の統一化・共通化、④修理等による長期間の利用の促進などを事業者には義務付けた。また、リサイクル促進の観点からは、⑤工場等で発生する副産物（スラグ、汚泥等）の利用促進に計画的に取り組むことを事業者には義務付けた。

そのほか、個別の廃棄物リサイクルについても、従来の容器包装や家電に加え、建設リサイクル法（2000 年）、食品リサイクル法（2000 年）、自動車リサイクル法などが相次いで整備されてきた。最近では、携帯電話、デジタルカメラ、携帯音楽プレイヤーやゲーム機器などの小型家庭用電子機器を対象とする小型家電リサイクル法が 2012 年 8 月に成立、2013 年 4 月より施行されている。

以上見たとおり日本では、容器包装廃棄物、大型及び小型家電製品、建築廃棄物（コンクリート、アスファルト、木材など）、食品廃棄物、廃棄自動車など様々な静脈資源をカバーする法制度、つまりハードローが整備されてきている。これらハードローの特徴としては、いわゆる拡大生産者責任の原則に基づき、製造業者や流通業者などに対して使用済み製品等のリサイクルの義務を課している点にある。こうした拡大生産者責任に基づく法規制は、いわば環境破壊や健康被害に配慮しない経済活動の費用を増大させることによって、静脈資源の潜在汚染性を顕在化させることなく、これを可能な限り製品・部品・素材として動脈経済に戻すよう促すものである。もちろん日本のリサイクル法制にも拡大生産者責任の貫徹という点で課題は少なくないが、制度違反に対する監視や罰則も併せて、少なくとも一定程度の評価をしうる実施状況であると言えよう。

他方、日本では、補助金などによりリサイクル実施に対する経済的支援を行う制度や、再生資源の規格標準などによって再生資源の信頼性を担保する制度は見られない。つまり、環境重視型手法の効用を増大させるようなハードローは今のところ未整備である。また、日本ではリサイクルに対する国民の意識は比較的高く、内閣府の 2012 年度『環境問題に関する世論調査』によれば、回答者の 86.8%が日頃からリサイクルを実施していると答えている。一方、リサイクル商品を買うとする回答比率は、31.2%と低い水準にとどまっている。同比率は、前回（2007 年）や前々回（2003 年）の調査では 16%程度であったことを考えると改善は見られるが、なお企業に環境重視型の製品開発を促すような消費行動は十分に普及していないと伺える。

3.1.3.2 中国¹⁹

中国の環境政策については、一種のパラドックスが存在すると指摘される。例えば、気候変動対策に関して中国は、一方で温室効果ガス排出規制にかかる国際的な制約の受入れに消極的な姿勢を維持しつつ、他方国内では、太陽光発電や水力発電などの再生可能エネルギーや省エネルギーの普及に見られるとおり、温室効果ガス排出削減に積極的とも見える政策を推進している。こうしたパラドックスは、一見すると環境保護を目的としたようにも見える政策が、実は資源エネルギーの有効活用による安定的な経済成長を主たる目的としていることに起因すると指摘される (Ong, 2012)。本研究を通じて、環境保護よりもむしろ経済成長を優先する中国の姿勢が、リサイクル規制にも見られることが明らかになった。中国では廃棄物処理に積極的に取り組む姿勢を政府が見せてはいるものの、いまだ一人当たり国民所得が購買力平価ベースでも1万ドルに満たない状況において、現実には経済発展が優先されているのである (Sekiyama, 2013)。

中国では、廃棄物全般に関する基本法として、1995年に、工業廃棄物、生活ごみ、危険廃棄物の処理に関する規則を定めた固体廃棄物汚染環境防治法が制定されている。同法は、2004年に改正され、製品の生産者が廃棄物から発生する汚染を防止する義務を負うことが明文化されることになった。また、2002年に制定された清潔生産促進法は、企業に対して、汚染物質の排出が少ない生産過程の採用とともに、製品ライフサイクルにおいて回収、リサイクル、リユースしやすい製品の生産を求めている。また、2008年に制定された循環経済促進法では、廃棄物リサイクルに関する拡大生産者責任を規定しており、工業廃棄物の総合利用、リユースと再生資源のリサイクルなどについて定めている。

こうした基本法の下で、中国では、特に発生量の増大が見込まれ、かつリサイクルによって得られる経済利益の大きな自動車廃棄物や電子廃棄物について、個別のリサイクル規制が進んできている。自動車のリサイクルについては、2001年に廃自動車回収管理弁法が制定されている²⁰。中国では、違法な廃自動車の転売や劣化部品の再利用によって交通安全上の問題が発生している。このため同法では、政府の監督下で自動車やオートバイなどの回収及び再生利用を行うことが規定されている。具体的には、主要部品（エンジン、方向指示器、変速器、サスペンション、フレーム）についてはリユースが禁止されており、解

¹⁹ 中国の廃棄物規制の経緯に関する本節の記述は、細田 (2014)、細田・染野 (2014)、Sekiyama (2013)、高・高 (2011)、杜 et al. (2011) などを参照したほか、筆者のフィールドワークによって得られた知見に基づく。その他、中国の廃棄物等の状況については、3.1.1 節を参照したい。

²⁰ 中国の法体系において、「法」は全国人民代表大会によって制定される legislative laws であるのに対し、「条例」や「弁法」は administrative regulations あるいは Ministerial Regulations である。

体企業はこれらの部品を鉄くずとしてリサイクルしなければならないとされている。

電子廃棄物に関しては、2004年に条例案が公表されてパブリックコメントに付された後、紆余曲折を経て、2009年に廃棄電器電子製品回収処理管理条例が公布された。いわゆる中国版家電リサイクル法である。同条例は、洗濯機、冷蔵庫、テレビ、エアコン、パソコンの5品目を対象とし、これら家電廃棄物について、①家電販売店等に回収の義務があること、②生産者から基金を集め、解体企業に費用助成すること、③解体企業は許可制とすること、などが規定されている。また、2007年から施行されている電子情報製品污染防治管理弁法は、EUのRoHSと同様に、広範な電子・電器製品を対象とし、製品中の鉛や水銀などの有毒物質の含有量を安全基準以下に低減させることを企業に求めている。

このように中国では、自動車廃棄物や電子廃棄物など、発生量の増大が見込まれ、かつリサイクルによって得られる経済利益の大きな静脈資源に限って言えば、日本やEUにも見劣りしないハードローの整備が進められてきている。しかし、容器包装、建築廃棄物、食品廃棄物など、未だ多くの静脈資源については、ハードローが未整備のままである。

また、こうした中国のリサイクル政策について特徴的な点は、家電廃棄物リサイクルに見られるとおり、補助金による経済的支援によって環境重視型リサイクルの効用を増大させる政策手法が用いられている事である。一方で、中国では、製造業者や流通業者などに対して使用済み製品等のリサイクルの義務を課すような、拡大生産者責任原則に基づく政策の採用は今のところ十分でない。つまり、環境破壊や健康被害に配慮しない経済活動の費用を増大させることを企図したような政策手法はあまり見当たらないのである。

リサイクル意識の点では、たしかに中国でも再生資源の有効活用という意識は普及してきている。実際、清潔生産促進法や循環経済促進法に見られるとおり、廃棄物の再利用やリサイクルなどについては、ルール作りも進んできている。しかし、廃棄物発生量の発生抑制による環境負荷の低減という意識は未だ十分には普及しておらず、日本の“3R”のような総合的対策は未だ中国には見られない。加えて、規制違反に対する監視や罰則といったガバナンスにも問題があり、せっかくハードローが整備されていても、その執行が適切に行われないという面も指摘される。

こうした特徴から言えることとして、中国の廃棄物リサイクルは、廃棄物排出量の発生抑制などによる環境負荷の低減を第一の目的とするものではなく、むしろ経済発展のための資源の有効利用を目指したリユースやリサイクルが中心だという事である。中国では、廃棄物処理に積極的に取り組む姿勢を政府が見せてはいるものの、いまだ一人当たり国民所得が購買力平価ベースでも1万ドルに満たない状況において、現実には経済発展が優先されているものと考えられる。中国では、人口の都市集中と産業活動の発展によって廃棄物の量も増え、2005年には都市ごみの量が世界一となった。人口増が進む北京市では都市

ごみの量も一日約 1.8 万トンに達し、現在も年 8%の割合で増加しているとされる（環境省 2011）。しかも、これらの都市ごみの多くは埋立処理されているため、埋立場の不足も懸念されている。

3.1.3.3 タイ²¹

経済社会の未発展な状況における経済発展優先のリサイクル政策という特徴は、中国に限定されるものではない。ここでは、中国と同程度の経済社会発展水準にあるタイのリサイクル政策について考察する。

タイでは、早くも 1975 年には環境基本法が制定され、1992 年にはこれを刷新した新たな国家環境保全推進法が制定された。特に近年は、都市化や工業化に伴い、水質汚染や大気汚染、廃棄物汚染など様々な環境問題が噴出してきており、近年では市民の環境に対する意識も高まりを見せている。民間リサイクル業者の中には、自治体と協力して、地域住民に対する環境教育や啓蒙活動にも積極的に取り組む企業すら存在する（SANG-ARUN et al. 2013）。

他方、近年タイ政府は、3R 政策の強化を図りつつあり、地域社会レベルでの 3R 推進パイロットプロジェクト、地方政府職員や地域社会の人々を対象とする訓練プログラム、3R 推進ガイドラインの作成、使用済み携帯電話回収プログラムなどの推進を始めている。

しかし、ハードローの整備という観点から見ると、タイでは今のところ廃棄物管理・リサイクルに関する包括的・総合的な法制度はない状況である。1992 年の国家環境保全推進法も、その後何度も改正が議論されながら一度も改正されないまま現在に至っている。廃棄物管理やリサイクル規制に関しては、主に以下の法律及び下位法令が、それぞれの所掌の中で廃棄物管理に関わっているにとどまる。

タイにおいては、主に有害廃棄物の管理については一応の規制がなされているものの、望ましい資源循環の実現を目指した政策については未整備である。特に一般廃棄物の適正処理という観点からは、なお多くの改善の余地がある。

（参考文献）

梅山研一 編（2011）、『タイ環境法体系ガイド』、EnviX。

環境省、『環境白書』、各年度版。

高偉俊・高永志（2011）「中国都市部における家電廃棄物リサイクルの現状及び排気量

²¹ タイの廃棄物規制の経緯に関する本節の記述は、SANG-ARUN et al. (2013)及び梅山研一編（2011）を参照したほか、筆者のフィールドワークによって得られた知見に基づく。その他、タイの廃棄物等の状況については、3.1.2 節を参照したい。

の予測に関する研究」、『東アジアへの視点』、2011年9月号、pp.12-22。

佐々木創（2008）、「タイにおける産業廃棄物処理とリサイクルの現状」、小島道一編『アジアにおけるリサイクル』、第5章、pp.193-224、アジア経済研究所。

内閣府（2012）、『環境問題に関する世論調査』 <http://www8.cao.go.jp/survey/h24/h24-kankyoku/index.html> より DL（2014年8月28日）。

細田衛士（2014）、「国際資源循環の課題と展望—東アジア圏域を中心に—」、『安全工学』、Vol.53、No.1、pp.27-34。

細田衛士・染野憲治（2014）、「中国静脈ビジネスの新しい展開」、『経済学研究（北海道大学）』、第63巻、第2号、pp.13-27。

杜欽政 et al.（2011）、「中国の電気電子廃棄物リサイクル処理の現状及び関係法律法規政策」、『環境技術会誌』、第143号、pp.109-113。

Ong, L. H. (2012). “The apparent paradox in China’s climate policies: Weak international commitment on emissions reduction and aggressive renewable energy policy.” *Asian Survey*, 52(6), 1138-1160.

SANG-ARUN, Janya et al (2013), *Promoting recycling in municipal solid waste management through suitable business models: Improving the supply chain for recyclables*, Commissioned Report, Institute for Global Environmental Strategies.

Sekiyama, Takashi (2015). “Proposal for an International Optimal Resource Circulation Regime from a Comparative Study of the Recycling Policies of Japan, China, and Thailand.” Presented at 11th International Conference, Western Economic Association International (WEAI), Wellington, New Zealand, January 10, 2015.

----- (2013) “A Paradox in China’s Environmental Management: An argument from a comparative study on waste recycling policies between China and Japan,” *Chinese Business Review*, Vol. 12, No.6, PP. 425-434.

3.1.4 実証技術開発

3.1.4.1 日本の高度技術の現地へのスムーズな移転—『廃蛍光灯希土類含蛍光粉高効率回収』等リサイクル技術の現地カスタマイズ化のための技術開発並びに実証事業

(1) 目的

本研究では、我が国の静脈産業がアジア新興国でのフォーマルな資源循環ビジネスに参入し、海外展開を進め、さらには静脈メジャーとして発展していくために必要な現地調査及び技術開発実証の研究として、現地の状況・ニーズやマーケット調査、法律や規制等の現状及び将来見通しを踏まえ、廃蛍光灯のリサイクル処理を現地化するための開発及びそ

の事業性の検証を行う。

具体的には、アジア新興国のうち、蛍光灯の生産量及び消費量が格段に多い中国にターゲットを定め、廃蛍光灯リサイクルの現地調査及び照明事業者ヒアリング調査を行った。その調査結果を踏まえ現地の状況に沿った設備提案、事業性の検証を実施した。

(2) 中国における蛍光灯生産量の調査

2011 年の中国における蛍光灯リサイクル生産量²²は、70.2 億本に達しており、2010 年の生産量と比較すると 3.3 億本増加している。ちなみに、日本の 2011 年の一般蛍光ランプの生産量は約 2.1 億本、販売量は約 2.7 億本である²³。

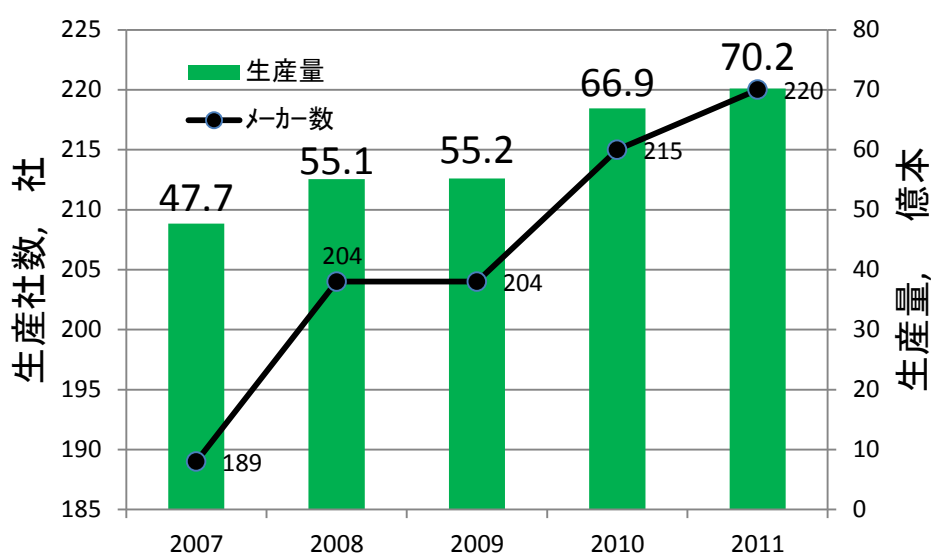


図 2 中国の蛍光灯の生産量推移

(3) 現地調査結果

現地調査は人口が 2,000 万人を超える北京市及びその周辺（訪問先：①清華大学、②北京生態島科技有限公司、③天津子牙経済園区、④TCL 奥博有限公司、⑤泰鼎有限公司、⑥中国照明電器協会、⑦中国物質再生協会、⑧唐山中再生資源開発有限公司、⑨北京市環境保護局、⑩北京松下照明光源有限公司）及び蛍光灯の生産が集中している浙江省、福建省（訪問先：①厦門通士達蛍光灯処理センター、②益光照明、③浙江省照明電気協会、④徳清新明輝電光源有限公司、⑤杭州宇中高虹照明電器有限公司）で行い、行政、メーカー、照明

²² CHINA LIGHT INDUSTRY YEARBOOK 2012, pp.146-147

²³ 一般社団法人 日本電球工業会ホームページ

<http://www.jelma.or.jp/>

協会を訪問し、蛍光灯リサイクル事業についてヒアリングを実施した。

ヒアリングの結果、中国における蛍光灯のリサイクル目的は①水銀汚染防止と②資源リサイクルであることが関係機関からのヒアリング調査から判明した。北京市では一部の大企業が蛍光灯のリサイクルを実施しているものの、ほとんどは埋立てあるいは焼却処理をしているとの情報が得られた。

蛍光灯をリサイクルするための最大の課題は「回収」と「費用負担」の仕組みの構築であり、ヒアリング先からは、年間 700 t 程度の回収量が無ければ、廃蛍光灯リサイクルの単独事業として黒字を確保することが難しいとの回答が得られた。また、廃蛍光灯は、危険廃棄物に指定されており、国（中国）の許認可を取得するのに相当の時間がかかるため、現在中国全土で中国環境保護部から認可されている会社（事業所）は、4 ヶ所とのことであった。

訪問先である厦門通士達蛍光灯処理センターと杭州宇中高虹照明電器有限公司では、ヨーロッパ製の蛍光灯自動処理機（写真 1、写真 2）を導入し、蛍光灯のリサイクルを実施しており、ガラス、金属等（写真 3、写真 4）を回収し、再利用している。

リサイクルシステムにおける共通の必須条件は、「乾式」であることがわかった。日本の蛍光灯リサイクル会社のほとんどは、「湿式」でガラスを洗浄しているため、この点の検討が必要である。

今回の関係機関からのヒアリング調査により、蛍光灯のリサイクル目的に応じて最適システムを検討する必要がある。



写真 1 処理装置



写真 2 水銀蒸留装置



写真3 回収したガラス



写真4 回収した口金フィラメント部

(4) 蛍光灯組成調査

① 蛍光灯ガラス中の水銀及び鉛含有量

中国での蛍光灯リサイクル事業で資源リサイクルを考える上で、重要なのがガラスのリサイクル用途である。蛍光灯に使用されているガラスの重量割合は 90%以上であり、このガラスをリサイクルすることが水銀の回収と同じく、最も重要な課題でもある。

蛍光灯のガラス原料として、再利用するためには、厳しい品質基準をクリアーする必要がある。例えば、日本におけるガラスのメーカー引取条件は、洗浄後のガラスの水銀含有量が 1 mg/kg 以下、鉛の含有量が 100 mg/kg 以下の基準を設けているところが多い。中国製の蛍光灯は、水銀の使用量も多く、日本ではソーダガラスであるべきガラスに鉛ガラスが使われているとの報告もある。そこで、中国で使用されている蛍光灯のガラスがリサイクル可能なガラスになり得るのか成分調査を行った。

今回の調査研究では、家庭でよく使用されるコンパクト形蛍光灯（写真 5）のガラス中の水銀及び鉛含有量を調査するとともに、中国国内で販売されている直管形蛍光灯（写真 6）のガラス中の水銀、鉛含有量の調査を実施した。コンパクト形蛍光灯の水銀含有量はガラスが未洗浄であったため 0.45～8.2mg/kg と数値にバラつきがあるものの、当社での洗浄実績から水銀含有量 1mg/kg 以下にすることは可能と考えている。一方、ガラス中の鉛の含有量は、42,000～69,000mg/kg と高い値であった。このことから、中国で製造されるコンパクト形蛍光灯には鉛ガラスを使用していると考えられる。

一方、直管形蛍光灯のガラス水銀含有量は、洗浄後のガラスを分析した。その結果は、0.01～0.06mg/kg と低濃度であり、リサイクル品として利用可能な濃度であった。

また、直管のガラスに含まれる鉛の含有量は、12～2,200mg/kg と低濃度のものと高濃度のものがあった。日本製の廃蛍光灯のリサイクルガラスに含まれる Pb 含有量は先に述べたように 100ppm 未満であり、中国メーカーの一部は蛍光灯に鉛ガラスを使用しており、中国国内で蛍光灯のガラスをリサイクル原料として使用可能かどうかはリサイクルする蛍光灯

の鉛含有量の分析を行い、判断する必要がある。



写真5 コンパクト型蛍光灯

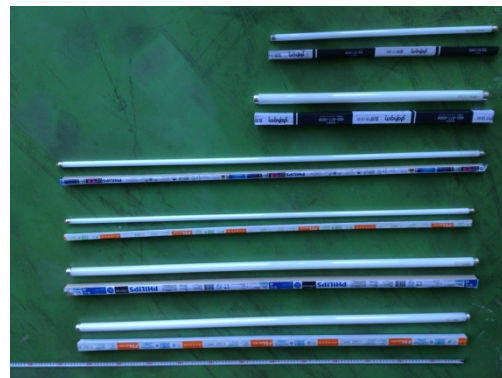


写真6 直管型蛍光灯

② 蛍光体中の希土類含有量

直管形蛍光灯から回収した蛍光粉に含まれる希土類の分析も行った。蛍光体の構成成分は、高価格の希土類（Y、Eu、Tb）含有量が低く Ca 含有量が高いことが判明した。このことから、中国国内で蛍光体リサイクルを行う場合は希土類の含有量、市場価格などを考慮し、蛍光体としてリサイクル可能なのか、あるいは希土類まで回収するのか慎重に検討する必要がある。

表3 各蛍光灯ガラス及び蛍光体の構成成分（直管形）

分析サンプル	分析項目	中国メーカー
蛍光体	Y [mg/kg]	49～310
	Eu [mg/kg]	～28
	Tb [mg/kg]	<20
	Ca [mg/kg]	300,000～320,000

(5) 北京市環境保護局関連情報

① 廃蛍光灯回収状況

北京市は蛍光灯リサイクルのモデル地域であり、2013年6月にリサイクルの仕組みについて提案が発表される予定だったが、今のところ進展が見られない。

北京市の廃蛍光灯処理は、金隅集団の子会社である北京生態島科技有限責任公司（北京市危険廃棄物処理センター連携）が行っている。北京生態島社の営業マネージャー宋鑫氏の話によると北京生態島は2008年から水銀含有光源の回収処理を始め、処理量は年間100万個から240万個に増えてきたとのことであった。

現在処理している廃蛍光灯は、殆どが政府機関、大手メーカーから回収しているものであり、住民からの回収は進んでおらず、回収がボトルネックになっている。市民が使用した蛍光灯は、普通の生活ごみに混合して処理されていると考えられる。

② 回収-処理モデルプロジェクト

中国—EU 蛍光灯回収と処理モデルプロジェクトが、2013 年 9 月から 2016 年 8 月までの予定でスタートした。プロジェクトの実施先は、清華大学と Basel Convention Regional Centre for Asia and the Pacific である。北京市環境保護局直属の北京市固体廃棄物と化学品管理センター、成都市固体廃棄物管理センター、オーストラリア自然資源と生命科学大学（BOKU）が共同実施することになっている。

(6) 水銀条約に絡む中国政府、地方政府の動向

「水銀に関する水俣条約」(the Minamata Convention on Mercury)は、水銀及び水銀を使用した製品の製造と輸出入を規制する国際条約である。中国は、2013 年 10 月 19 日に熊本市で条約に署名した。

条約によって、一定以上の水銀封入量を超える蛍光灯は 2020 年までに製造や輸出入が禁止される。規制対象となるのは以下の蛍光灯である。

① 30W 以下の一般照明用コンパクト蛍光灯(CFL)で、水銀封入量が 5mg/個を超えるもの

② 一般照明用直管蛍光灯(LFL)

(a) 60W 未満の 3 波長蛍光体を使用したもので、水銀封入量が 5mg/個を超えるもの

(b) 40W 以下の Ca ハロ蛍光体を使用したもので、水銀封入量が 10mg/個を超えるもの

③ 一般照明用の高圧水銀ランプ(HPMV)

④ 電子ディスプレイ用冷陰極蛍光灯 (CCFL 及び EEFL)

(a) 長さが 500mm 以下の小サイズのもので、水銀封入量が 3.5mg/個を超えるもの

(b) 長さが 500mm を超え 1500mm 以下の中サイズのもので、水銀封入量が 5mg/個を超えるもの

(c) 長さが 1500mm を超える大サイズのもので、水銀封入量が 13mg/個を超えるもの

現在中国の蛍光灯メーカーは、固体水銀の生産プロセス技術をマスターしている。一部照明メーカーは蛍光灯に使う水銀の低減に取り組んだ結果、コストを上げずに水銀含有量 0.5 mg/個の小型コンパクト蛍光灯の生産が可能になったと報道されており、生産プロセスの課題が解決されたと考えられる。最近の統計によると、コンパクト型蛍光灯総生産量の約 30%が 1.5 mg/個の水銀含有量に達している。

(参考) 中国における段階的蛍光灯の水銀含有量削減ロードマップ

中国工業信息化部が、2012 年 11 月 21 日に公布した「中国における段階的蛍光灯の水銀

含有量削減ロードマップ」(意見公募案)の内容について以下にまとめた。2013 年 2 月に、中国工業信息化部、科技部、環境保護部が共同で正式に「中国における段階的蛍光灯の水銀含有量削減ロードマップ」(2013 年第 11 号)を公表した。ロードマップに更新された内容を説明する。

○実施案

(一) 基本方針

蛍光灯製品及びその製造過程の低水銀含有という目標に基づいて、低水銀含有の生産技術を開発し、古い生産プロセスを淘汰させ、新技術を普及すること。また、政策の誘導効果と市場メカニズムを生かし、段階的に蛍光灯製品の水銀含有量を減らしていく。

(二) 法律根拠

《中華人民共和国クリーンプロダクション促進法》など関連規定。

(三) 実施プロセス

① 液体水銀使用の生産プロセスを廃止

2013 年年末まで、液体水銀使用のコンパクト型蛍光灯の生産プロセスを淘汰することを目標とする(液体水銀か液体水銀含有物を原料とする蛍光灯生産プロセスを指す)。2014 年年末まで、液体水銀使用の生産プロセスを全面淘汰することを目標とする。

② 段階的に蛍光灯の水銀含有量を削減

中国国内生産 60 ワット以下の普通照明用蛍光灯製品中の水銀含有量を、三段階を分けて削減する(表 4 を参照)。50%の製品が各段階の水銀含有量を超えないことを目標とする。

表 4 水銀削減ロードマップ

段階	時間	製品		目標値(mg)	現行基準より 水銀削減(%)
1	2013年12月31日まで	コンパクト型蛍光灯	容量 $\leq$ 30W	1.5	70%
			容量 $>$ 30W	2.5	50%
		長寿命蛍光灯		4.0	50%
		その他蛍光灯	管径 $\leq$ 17mm	2.5	75%
			管径 $>$ 17mm	3.0	70%
2	2014年12月31日まで	コンパクト型蛍光灯	容量 $\leq$ 30W	1.0	80%
			容量 $>$ 30W	1.5	70%
		長寿命蛍光灯		3.0	63%
		その他蛍光灯	管径 $\leq$ 17mm	1.5	85%
			管径 $>$ 17mm	2.0	80%
3	2015年12月31日まで	コンパクト型蛍光灯	容量 $\leq$ 30W	0.8	84%
			容量 $>$ 30W	1.0	80%
		長寿命蛍光灯		2.5	69%
		その他蛍光灯	管径 $\leq$ 17mm	1.0	90%
			管径 $>$ 17mm	1.5	85%

注：1. コンパクト形蛍光灯は、所謂「省エネルギー灯」であり、長寿命蛍光灯は使用寿命 25,000 時間以上の直管形蛍光灯である。

2. 水銀含有量削減効果というのは、目標値と現行製品標準（「照明電器製品中有毒有害物質の限量要求」QB/T 2490-2008）を比較し、単品の蛍光灯製品の水銀含有量の削減割合である。

以上に基づいて、継続的に蛍光灯の水銀含有量を削減する。

（四）期待される効果

2014 年年末まで、液体水銀プロセスの淘汰により、生産過程の水銀排出量は 2010 年より 50%削減できるようにする。2015 年まで、単品の蛍光灯製品の平均水銀含有量は 2010 年より 80%減の目標を達成する。半分以上の蛍光灯の水銀含有量は 1mg 以下に抑える。

（7）廃蛍光灯の回収要求について（中国レアアース業界標準 XB/T XXXX-201X）予審版

中華人民共和国工業和信息化部が作成したレアアース業界標準の予審版が公布された。標準の内容から、蛍光灯リサイクルに関連する部分を下記にまとめた（番号は原文と同様）。

4 廃蛍光灯回収の要求

4.1 廃蛍光灯の回収の過程において、蛍光灯破損の防止策を取ること。例えば、専用の回収桶か回収箱を使用する。破碎した蛍光灯は密閉容器を用いて保存する。

4.3 廃蛍光灯の保存場所は、浸出防止の措置をとる。例えば GB18599 の規定を参照する。

4.4 廃蛍光灯は、直管型とコンパクト型に分けて保管するか、廃蛍光灯処理企業の処理要求に従って保管する。

5 廃蛍光灯の保存と運搬の要求

6 廃蛍光灯の処理要求

6.1 端切吹き出し処理要求

6.1.1 一般の直管型蛍光灯は、両端を切ってから、蛍光粉を吹き出す処理法が適している。

6.2 直接破碎処理要求

6.2.1 一般のコンパクト型と環状蛍光灯は、直接破碎処理法が適している。

6.3.2 回収された廃蛍光粉と蛍光粉含有の廃ガラスなどの破碎産物は、脱水銀後レアアースの回収工程に入る。

（8）提案する処理プロセス及びリサイクル設備

① 処理プロセス

現地調査結果を踏まえ、現地にカスタマイズした処理プロセスを図 2 に示す。訪問した蛍光灯リサイクルリサイクル設備は、自動化された設備が導入されており、これらの設備

を参考に処理プロセスを検討した。

この処理プロセスでは、直管形蛍光灯処理とコンパクト形蛍光灯処理が行える。投入はすべて自動で行い、直管形蛍光灯は口金を切断回収した後、粗破碎、スクリーン選別、磁力選別、乾式洗浄の工程を経て処理され、ガラス等の資源物が回収される。

コンパクト形蛍光灯は直接粗破碎機に直接装入され、直管形蛍光灯と同様のプロセスで処理され、資源物が回収される。

蛍光粉は集塵機により回収し、蛍光粉に付着した水銀は、水銀蒸留装置で分離回収する。

なお、装入は定型回収箱のセット後、自動投入されるシステムである。

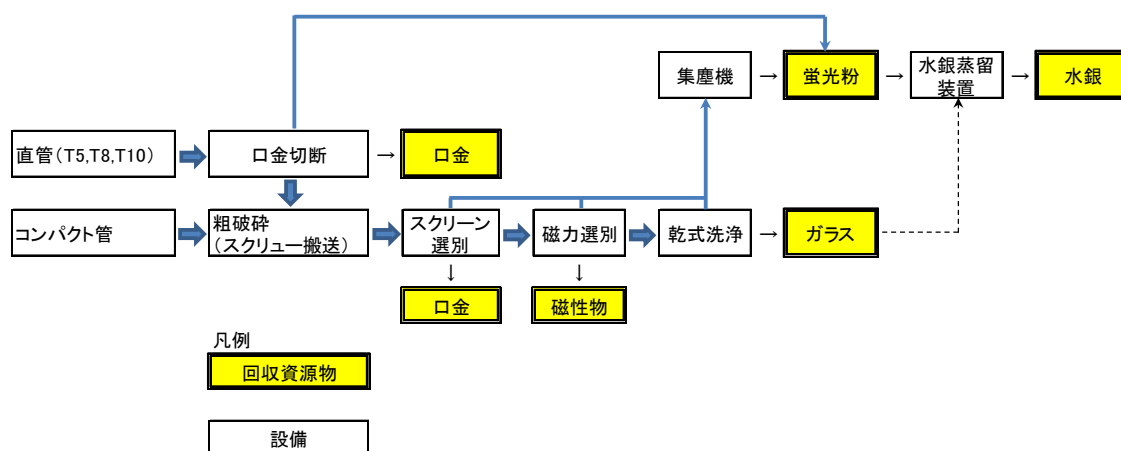


図3 廃蛍光灯処理プロセス

② 主要リサイクル設備

(a) 口金切断装置

自動供給された直管は、図3に示すように、まず両端にある口金をダイヤモンドカッターで切断する。口金は別回収し、管内ブローにより蛍光粉が回収される。

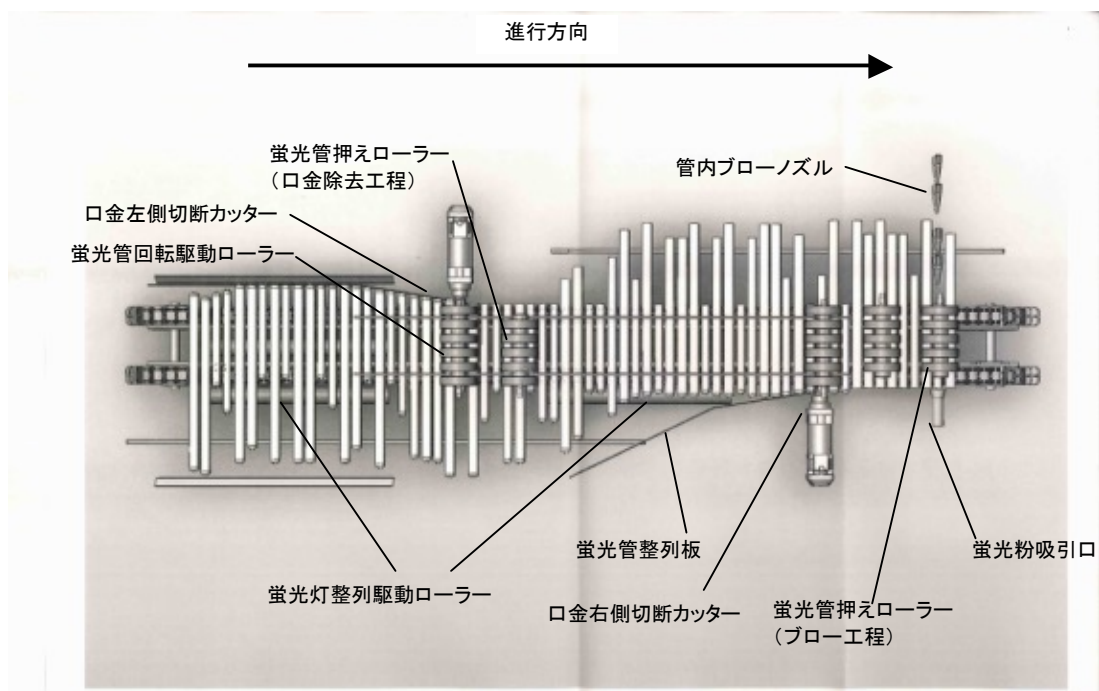


図4 直管処理フロー案

(b) 粗破碎機

スクリー方式の破碎機であり、搬送しながら破碎を行う。

(c) スクリーン選別

スクリーンを有した選別装置（例えば、篩装置）

(d) 磁力選別機

磁力により、磁性物を選別（ドラム式選別機、吊り下げ式選別機）

(e) 乾式洗浄設備

回転機構を有する設備、例えば、トロンメル式選別装置（写真7、写真8）²⁴により、ブローで回収できなかったガラスに付着した蛍光粉を剥離除去する。

²⁴ 出典 <http://www.takatsu.co.jp/business/products/0010.html>



写真7 スクリーントロンメル

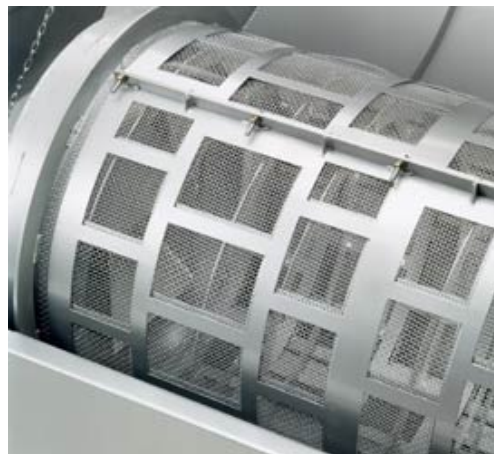


写真8 スクリーントロンメル（内部）

(f) 集塵機

サイクロン及びバグフィルターで構成される。

(9) 中国における蛍光灯リサイクル事業性の試算

本調査により得られた情報を基に、いくつかのケースで事業性を試算した。事業性検討の基礎条件は以下の通りである。為替レートは、1 元 16.88 円とした。

① 設備投資

投資総額 1.5 億円

② 変動費

電気代：北京市の普通工業（電圧 1 KV 以下）は 0.8545 元/k Wh

材料費：弊社実績（3 円/kg）

修繕費：弊社実績の 1/2（2.5 円/kg）

有価物：金属のみ有価売却できるものとした。

③ 固定費

労務費：工員 5 名、3,000 元/月・人

賃借料：1 元/m²・日（市の郊外で借用を前提とした）

減価償却：10 年償却、残値率 10%で算出

管理費：売上の 5%

④ 試算結果

廃蛍光灯のリサイクル処理の売上単価を、3 元、5 元、7 元、年間の回収処理量を 100 t、200 t、300 t とした 9 ケースで経常利益の算出を実施した。

試算結果を表 5 に示す。

表 5 試算結果

	千円／年		
単価 入荷量	3元	5元	7元
100 t/年	▲ 16,179	▲ 12,972	▲ 9,764
200 t/年	▲ 12,601	▲ 6,186	228
300 t/年	▲ 9,023	599	10,221

売上単価を 5 元（84.4 円/kg）とした場合、年間 300 t 集荷することで黒字化する試算結果となった。

(10)まとめ

本調査研究において、廃蛍光灯のリサイクル処理の事業化時の検討ポイントをまとめると次のようになる。

①リサイクル技術及び設備価格

中国では、MRT 社（スウェーデン）の蛍光灯リサイクル設備が普及しており、少なくともこれらの設備と同等の技術を有する設備が必要である。また、処理施設 1 箇所当たりの設備費は蛍光灯処理機 2 機と水銀蒸留装置 2 機とすると、日本で製作・輸出する場合、提案した設備費が 1.5 億円かかることから、関税も含めて考えるとヒアリングした会社のプラントの価格（約 2 億円）と比較して、プラント価格の面で差別化を図ることは難しいと考えられる。

②集荷の可能性

蛍光灯のリサイクルにかかわる法律の制定がされていないため、廃棄物として個別回収される動機付けが無い。既存業者は蛍光灯生産会社の子会社で生産不良品のリサイクルをする程度に留まっている。

③施設許可の取得の困難性

中国で廃蛍光灯のリサイクルを実施するには危険廃棄物の許可取得が必要なため、事業を実施するには現地中国企業と連携が必要と考える。今回の調査で許可取得には相当な時間が必要であることがわかった。

④事業規模

仮に 1,000 t/年、処理費 85 円/kg としても、年間の売上は 85 百万円程度であり、日本の技術者の派遣費や本社管理費も加えた全体費用を回収するには、事業規模が小さく、蛍光灯リサイクル事業単独での事業化ハードルは高いと言える。

⑤リサイクル品の資源化

蛍光灯の大部分を占めるガラスのリサイクル品は、中国ではほとんど価値が無い（現状 0 円もしくは逆有償で引取）ため、金属、プラスチックなどの資源物も含め、出荷先・引取先の確保は必要である。

以上により、現状では中国での蛍光灯リサイクルは日本同様技術的には可能であるものの、蛍光灯リサイクル単独での海外展開は困難であり、法的裏づけ等により集荷が見込め、一定規模以上で事業化できる廃棄物との組み合わせによる複合的なリサイクルビジネスを検討する必要がある。

中国以外の新興国、例えば、タイにおける蛍光灯リサイクルに関するヒアリング・文献調査²⁵では、2006 年 4 月にタイ東芝蛍光灯社が、バンコク近郊の工業団地に入居する製造業から直管形蛍光灯を回収し、8 時間で約 1 万本の処理をしている程度であった。

このことから蛍光灯のリサイクル法が整備されていない新興国では、中国より人口が少ないことも含めて集荷量はより限定されると思われる。よって、これらの新興国においても上記同様、複合的なリサイクルビジネスを検討すべきと考える。

3.1.4.2 現地技術の導入によるコストダウンでの市場参入ー『電機電子機器類からの有価金属回収』等リサイクル技術の現地カスタマイズ化

(1) 開発内容

アジア各国での電子・電気機器の普及に伴い、使用済み電子・電気機器の健全で円滑なリサイクルが求められている。だが一方で、廃製品の貴金属品位低下、多品種化、小ロット化が進んでおり、このことが効果的なリサイクルを難しくしている面がある。この現状に鑑み、現地で適用できる規模の、小規模な製錬技術（湿式・乾式）の実証技術開発を行った。小規模な製錬を行うことにより、最終工程（大規模製錬所）に繋げる、又は、現地の素材ユーザーの使用に耐えうる品質へ製品化することを目指した。

本技術開発の適用範囲は図 5 の緑枠部分である。対象となる廃電気電子製品を解体・分別後、回収される電子基板やリチウムイオン電池(LIB)に対し、小規模な湿式製錬、乾式製錬、熱処理などの手法を用いることによって、現地での事業化の可能性を調査した。各調査内容について以下に述べる。

²⁵ 「アジアにおけるリサイクル」小島道一編、アジア経済研究所、pp.193-224

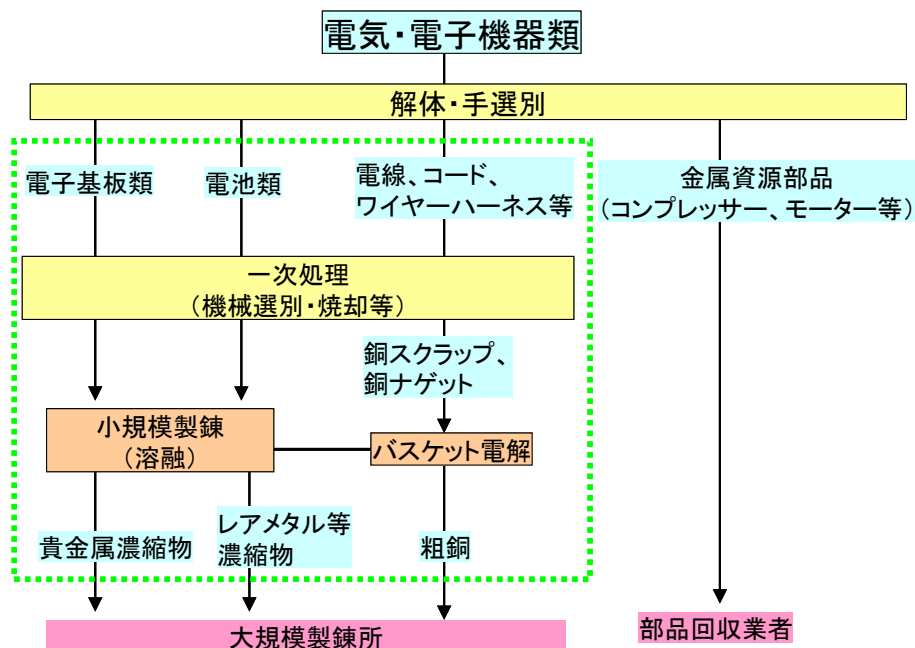


図5 有価金属リサイクルの流れと本検討内容

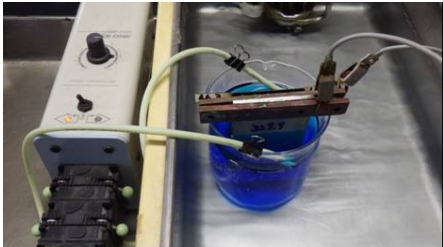
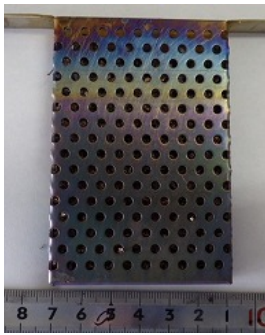
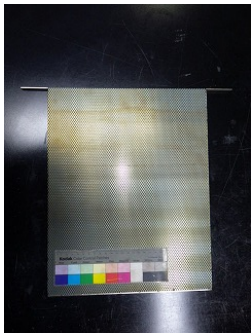
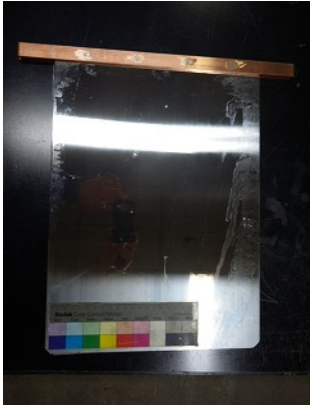
(2) 小規模湿式製錬によるリサイクル手法の検討 ～バスケット電解

現地で適用できる小規模な製錬技術として、リサイクル原料を直接電解精製する技術であるバスケットアノードを用いた方法（以下、バスケット電解）に着目し、その実用可能性を調査した。

難溶性の材料を用いてバスケット（網籠）状のアノードを作成し、原料を直接バスケットに投入し、アノード（バスケットと原料）とカソード（SUS板）間に電解液を介して通電することで電解精製した。バスケット電解の利点は、溶融処理、熔錬を伴わずに直接原料をバスケットに投入して通電することで、電気銅を得ることができることにある。

表6に示すピーカーサイズの試験用装置と、図6、写真9に示す60倍にスケールアップした中規模試験装置を製作した。各試験は、表7に示す電解液の条件及び組成、表8に示す通電条件にて実施した。

表 6 試験に使用した電解槽の仕様

		純銅の銅電解 (対照実験)	バスケット電解 (ビーカーサイズ)	バスケット電解中規模 実証試験装置
電解槽	容量	0.5 L		22 L
	外観			
アノード	材質	純銅	チタン	チタン
	容量		40 mL	1.1 L
	外観			
カソード	材質	SUS316L		
	電極面積	40.8 cm ²	40.8 cm ²	0.18m ²
	外観			
銅生産能力		23g/日	23g/日	1kg/日

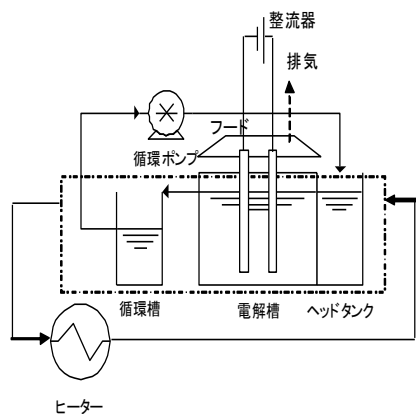


図 6 中規模電解設備の模式図

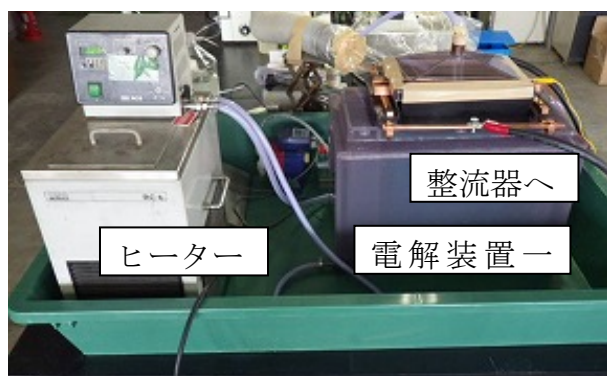


写真 9 中規模電解槽

表 7 電解液の条件及び組成

	ビーカー試験	中規模実証試験装置	単位
液量	0.54	22	L
温度	60	60	℃
Cu 濃度	45	45	g/L
遊離硫酸	200	200	g/L

表 8 通電条件

	ビーカー試験	中規模実証試験装置	単位
カソード電極面積	0.004	0.18	m ²
電流密度 (Dk)	200	200	A/m ²
電流	0.82	36	A
電圧	成り行き	成り行き	V

① 電子基板から分離回収した銅原料のバスケット電解試験

使用済み電子電気機器から電子基板を回収し、素子を分離した後、500℃窒素雰囲気にて加熱処理して炭化させた基板を粉砕し、磁選、篩分け後、0.6mm 以上の銅を含有するスクラップをバスケット電解の原料とした。表 9 に原料の組成を示す。

表 9 電子基板原料の組成 (単位 wt%)

	基板 (素子除去後)	炭化後の基板	電解原料
Cu	22.1	34.5	82

Fe	2.45	3.8	0.1
Al	1.83	2.6	6.3
Zn	1.19	2.1	5.7
Ni	0.35	0.6	0.4
Sn	0.26	0.5	2.7
Pb	1.91	3.45	5.3

電流効率と極間電圧の推移を図 7 に示す。原料を補充することで大きく電圧が上昇することはなかった。また電流効率も高かった。電解電力は約 390kWh/t であった。これは通常の銅電解の 275kWh/t と比較して高いが、溶融処理を経由せずに直接原料を電解精製可能であることが確認できた。

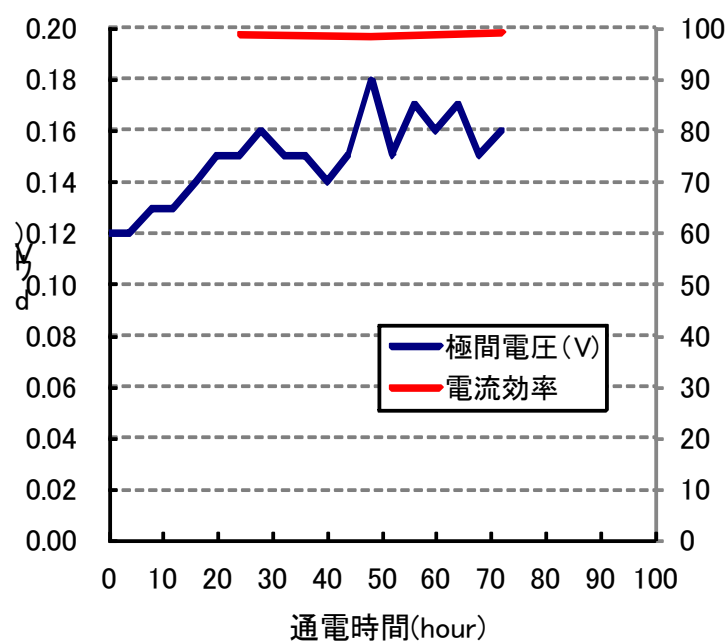


図 7 電子基板から得られた銅原料とした場合の通电時間に伴う電流効率及び極間電圧の推移

② ワイヤハーネスから得られる銅ナゲットのバスケット電解試験

電子基板などから得られる銅原料は不純物を多く含むため、浄液にコストがかかることが予測される。不純物を含んだ銅原料に対しバスケット電解が可能であることを調査した。

原料として、ワイヤハーネスから得られる銅ナゲットを使用した。銅ナゲットの組成

を表 10 に示す。中規模試験装置による銅ナゲットの試験結果を表 11 に示す。電流効率は大きく変わらず、正常な電着状態で電気銅が得られた。

表 10 コネクタを含む銅ナゲットの組成

元素	銅ナゲット	元素	銅ナゲット	元素	銅ナゲット
	wt%		wt%		wt%
Cu	97.4	Mg	0.06	Mn (ppm)	6.8
Zn	2.16	Fe	0.02	Cr (ppm)	1.4
Ni	0.19	Ca (ppm)	13.4	Na (ppm)	0.8
Sn	0.14	Al (ppm)	12.5		

表 11 中規模試験装置の電流効率と極間電圧の比較

装置 スケール	原料	電流効率 (%)	極間電圧 (V)	
			通電 1h	通電 24h
中規模槽	銅ナゲット	97	0.46	0.44
ビーカー	銅ナゲット	99.8	0.12	0.16

バスケット電解に伴ってワイヤーハーネス中に含まれるコネクタ部材中の不純物が溶解し、電解液中に蓄積する。表 12 に 59 時間電解後の各不純物濃度・Zn 溶出量に対する各不純物の溶出比を示す。亜鉛、錫、ニッケル等が溶出し、特に亜鉛の溶出量が大きくなった。

表 12 電解後の各不純物濃度・Zn 溶出量に対する各不純物の溶出比

	59 時間後 濃度 / ppm	Zn : 1 に対する各不純物の比率
Zn	12978	1
Sn	170	0.013
Ni	167	0.013
Fe	18	0.001
Mg	37	0.003

原料に含まれる不純物が電解に与える影響を調査するため、コネクタ部材に含まれる不純物を高濃度で含有する模擬電解液を作成し、各不純物の存在が精製電気銅の品質に及ぼす影響を調べた。コネクタ部材に含まれる主な不純物は、Zn、Sn、Ni、Fe、Mg である。

ビーカーテストで行ったワイヤーハーネスのコネクタ部材のバスケット電解精製試験の結果、液中に溶け出た各不純物の溶出比率を基に高濃度不純物含有模擬電解液（低～高の 3

種類)を作成し、2L スケールの電解槽を用いて試験した。その結果、いずれの不純物濃度水準でも、4N 電気銅の限度不純物品位 (100ppm) よりも大幅に不純物品位の低い電気銅が精製できた。得られた電気銅は表面にツブ・コブがやや多いが、正常な電着が得られた。

さらに、表 13 の組成の高濃度不純物含有電解液を作成し 3.5kg のナゲット材を原料として、22L スケールの電解槽を用いて試験した。表 14 に中規模電解試験における、電解液の不純物水準と電気銅中の不純物品位を示す。いずれの不純物濃度水準でも、4N 電気銅の限度不純物品位 (100ppm) よりも大幅に不純物品位の低い電気銅が精製できた。得られた電気銅は表面にツブ・コブがやや多いが、正常な電着が得られた。

表 13 模擬電解液の組成

	不純物品位 / ppm
Cu	45
Zn	100
Sn	1320
Ni	1280
Fe	160
Mg	280

表 14 電解液不純物水準と電気銅中不純物品位の関係

	不純物品位 / ppm
Zn	1.5
Sn	1.6
Ni	0.0
Fe	2.2
Mg	0.2

以上の調査結果から、1kg/日の生産能力をもつバスケット電解中規模設備にてバスケット中に減少した銅を定期的に投入することで、銅電解と大きく変わらない電圧で電解精製が可能であることを確認できた。ワイヤーハーネスのバスケット電解により生成する不純物濃度に対し約 7.5 倍の高濃度の不純物濃度の電解液からも、4N 電気銅の限度不純物品位 (100ppm) よりも大幅に不純物品位の低い電気銅が精製できた。

今後、実用化へ向けては、連続処理にあたって銅の供給方法や設備、液中の不純物の浄液方法や濃度管理について検討する必要がある。また、これらの不純物が多くなると不導態化が生じやすくなる可能製があるため、それを考慮した装置の形状・構造や添加剤などについての検討が必要である。電解を継続した場合に、電極がどのように消耗していくのか、短期間では予想が難しいが、カソードに加えてアノードも更新が必要になると考えられる。不溶性バスケットアノードはチタンを用いており、比較的高価であるため、電極の寿命についても経過観察が必要である。

(3) 小規模乾式製錬技術開発 ～小型溶融炉による溶融試験

(2)の結果より、バスケット電解が銅原料の小規模製錬技術として有望であることがわか

った。さらに、銅以外の成分の小規模な製錬技術として、電子基板やリチウムイオン電池を対象とし、乾式製錬の技術開発を行った。

小規模な乾式製錬が可能な炉として、原料に対する間口が広く、小規模化及びターゲット元素の製錬が可能な、黒鉛電極による抵抗加熱式を選択した。排ガス量が少なく小規模化が可能であり、還元剤によりニッケル、コバルト、錫等の対象元素ごとに還元度を調整することが可能である。汎用的な溶融炉であるため、海外であっても安価に製作・設置が可能と思われる。

使用した溶融炉の主な仕様は以下のとおりである。

トランス容量 199kVA 電極 黒鉛製 外径 101mm 3 本
 外径 1150 高さ 900mm 実効容積 140L

① 電子基板溶融試験

家電リサイクル工場で回収された電子基板を用い、堅型破砕機、磁選機、渦電流選別機等によって破砕・選別処理した。図 8 に破砕・選別工程のフロー、表 15 に物量バランスを示す。この処理によって、全体重量の 37%を売却可能な産物として回収し、破砕基板は重量 63%にまで減量化できた。

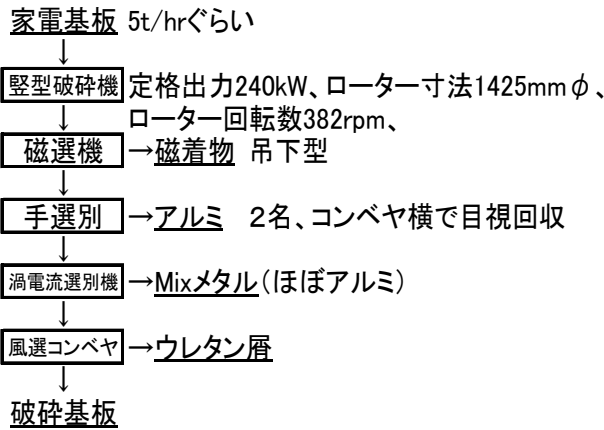


表 15 破砕選別処理前後の重量

投入前	破砕選別後		
kg		kg	%
3,312	基板	2,238	63
	磁着物	1,120	31
	アルミ(手選)	67	2
	渦電流産物	145	4
	計	3,570	100

図 8 破砕選別工程フロー

破砕・選別工程で得られた破砕基板を固定床炉にて 600℃で約 2 時間焼却処理した後、焼却残渣に溶剤（フラックス）を混合し、全量溶融後、炉底部分をタッピングし、全量をパン（溶体の空冷固化用容器）に抜き出し、パン内で空冷して溶融メタルとスラグを比重分離した。溶融メタル化することにより、破砕基板重量に対して約 20%まで減量化された。最初の基板重量に対しては、約 13%まで減量化されたことになる。

表 16 に溶融メタルの品位を、表 17 に主要元素の分配率を示す。焼却残渣の品位も併せ

て示す。銅以外の成分として、鉄、鉛、錫、アンチモンなどが含まれている。その他にスラグ成分も混入していた。通常、銅製錬では、酸化処理することによって鉄成分はスラグ化されるが、本試験で用いた電気炉では還元雰囲気となるため、鉄の混入が避けられなかったと考えられる。

溶融スラグの成分は、基板中のアルミがスラグ化することにより、狙いとするアルミナ濃度となった。スラグ中への貴金属ロスも少なく抑えられたことから、スラグ中の鉄品位が低く、鉄成分の多くが還元されて溶融メタル化していることが示唆される。貴金属の溶融メタルへの回収率は約 9 割、不純物として鉄、鉛、錫、アンチモンが高い割合でメタルへ分配されることがわかった。亜鉛は大部分がダスト中へ揮発した。鉛の揮発率は亜鉛ほど高くならなかったのは、電気炉は排ガス量が少ないため、鉛の揮発が促進されなかったと考えられる。

この結果から、溶融メタル中の不純物を低減するために、破碎・選別工程で除去可能な鉄成分はできるだけ事前に回収することが特に重要であるといえる。また、半田成分やプラスチック中に含まれるアンチモンも、可能限り事前に選別して回収することが望まれる。

表 18 に溶融工程の処理コスト（変動費）を示す。これに固定費も加えると、溶融処理で約 50 円/kg-破碎基板程度のコストと推測される。電力費や黒鉛電極費は、熱ロスを減らすよう操業方法を工夫することにより、より低減することは可能と考えられる。さらに、珪砂や石灰石などのフラックスの使用量を減らすためには、基板中のアルミ濃度を低減することが効果的である。電子基板中に含まれる貴金属の含有量と比較すれば、採算のある処理費であり、現地でのより詳細な事業性試算を行う価値のある方法であることがわかった。

表 16 電子基板の溶融メタル品位

	kg/t	Au	Ag	Pd	Cu	Fe	Pb	Sn	Sb	Ni
	-破碎基板	g/t	g/t	g/t	%	%	%	%	%	%
RUN10	214	45	1,553	18	55	12.6	2.1	4.6	1.8	0.8
基板焼滓(参考値)	425	28	1,033	18	29	7.5	1.6	1.0	1.0	

表 17 主要元素の分配率

%	メタル	スラグ	ダスト
Au	88.7	11.0	0.4
Ag	91.2	4.9	3.9
Pd	75.6	23.6	0.8
Cu	99.6	0.3	0.1
Fe	73.9	25.6	0.5
Pb	64.9	1.6	33.5
Sn	91.6	2.9	5.5
Sb	95.9	0.0	4.1
Zn	0.0	4.4	95.6

表 18 破碎基板の溶融工程の処理コスト（変動費）

円/kg-破碎基板	単価
電力	17 14円/kWh
黒鉛電極	6 12,166円/本
珪砂	1 単価5円/kg
石灰石	6 単価19円/kg
残渣処分費	7 単価10円/kg
変動費計	37

② リチウムイオン電池（LIB）の溶融試験

LIB は、電子・電気機器や電気自動車等への使用量が増加している。現在も様々な種類の LIB が開発されているが、一般的には、負極に銅箔、正極にアルミ箔、負極活物質にカーボン、正極活物質にリチウム酸ニッケル・コバルト・マンガンの複合酸化物を用いたものが主流となっている。この中で、コバルト、ニッケルは金属価値が高く、資源の遍在性からも、回収しリサイクルされることが望ましい。

LIB 中には、電解液として可燃性の有機溶剤が含まれているため、手解体や破碎によって爆発・燃焼する危険がある。そのため、LIB を固定床炉で 800℃で約 2 時間焼却処理した後、空冷して取り出した。

対象とした LIB は、筐体が鉄製である。そのため、焼却残渣を一軸破碎機、磁選機によって破碎・選別処理した。図 9 に破碎・選別工程のフローを示す。表 19 に処理前後の重量と各産物の組成を示す。磁着物を回収することにより、約 70%の鉄を分離することができた。また、大半のニッケルやコバルトが篩下産物に濃縮された。銅は非着物中に濃縮されるが、アルミも非磁着物中に分配されるため、条件を調査して銅をアルミを分離回収できればさらに望ましい。

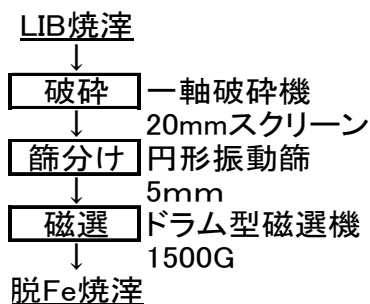


図 9 破碎・選別工程フロー

表 19 破碎選別産物の重量と組成

		原料	under 5mm産物	非磁着産物	磁着産物
重量 / kg		475	314	51	110
組成 / %	Cu	11.4	6.1	54.5	6.4
	Ni	10.4	13.1	2.1	6.4
	Co	11.7	16.3	4.2	2.2
	Fe	19.3	8.5	3.3	57.7
	Al	7.1	7.5	13.6	2.8
	Mn	10.3	14.8	2.6	1.2
	Li	4.2	5.7	2.4	0.7

得られた LIB 焼却残渣の約 50kg を溶融処理し、メタルの品質と収率を把握した。表 20 に溶融メタルの品位を示す。

表 20 溶融メタルの品位

	原料	スラグ系	メタル量 kg/t-LIBセル	メタル品位 (%)				
				Cu	Ni	Co	Fe	Mn
RUN12	LIB焼滓	SiO ₂ -FeO系	189	20	13	16	50	0.6
RUN13	〃	〃	138	19	12	17	51	N.D.
RUN15	脱Fe焼滓	SiO ₂ -FeO系	153	13	9	14	64	N.D.
RUN19	〃	〃	178	17	8	14	62	N.D.
RUN16	脱Fe焼滓	SiO ₂ -CaO系	64	24	17	24	20	16
RUN17	〃	〃	61	27	17	23	15	17
RUN20	〃	〃	31	27	16	23	20	14

RUN12,13 のように、脱 Fe 前処理を行わない場合、鉄品位が約 50%となり、LIB 焼滓中の鉄がほとんどスラグ化されずにメタル化した。通常、銅製錬では、酸化処理することによって鉄成分はスラグ化されるが、本試験で用いた電気炉では還元雰囲気となるため、鉄の酸化が進まなかったと考えられる。コバルト品位はやや低く、一部がスラグへロスされたと考えられる。

RUN15,19 のように、脱 Fe 前処理を行った場合でも、スラグ系が SiO₂-FeO 系である場合、鉄品位が約 60%となった。還元雰囲気下で、スラグ中の FeO が還元されたためと考えられる。

RUN16,17,20 のように、脱 Fe 前処理を原料とし、スラグ系を SiO₂-CaO 系とした場合、鉄品位を約 20%に抑えることができた。一方、メタル中に Mn が約 15%含まれた。これは、還元雰囲気下かつ系全体の Fe 濃度が低い状況下では、LIB 中の Mn まで還元されたためと考えられる。

ベストデータである RUN16,17 の結果から、ニッケル、コバルトの溶融メタルへの回収率は約 9 割であった。鉄及びマンガンも 6 割以上がメタルとして分配された。

以上の結果から、LIB を熔融することにより、Al, Li を分離し、Cu-Ni-Co-Fe-Mn 合金を回収できることが確認できた。メタル中の Cu, Ni, Co 品位を高めるには、脱 Fe 前処理かつ SiO₂-CaO 系のスラグにて熔融するのが最適であることがわかった。

LIB 中のマンガンは一部がスラグ化したが、スラグ中の MnO 濃度は最大で 6%であった。このことから、LIB 中のマンガン濃度に応じてフラックスを添加し、所定のスラグ濃度となるよう調整する必要があることがわかった。すなわち、LIB 中のマンガン濃度が大きくなれば、熔融コストも大きくなる。

得られた熔融メタルから鉄やマンガンを分離し、Cu, Ni, Co 品位を高めて売却可能な産物とする乾式精製も検討した。電気炉での試験により得られたメタルを誘導炉にて電圧 350V、電力 30kW、周波数 3,000Hz で熔融することができた。大気中での熔融により、スラグ成分が徐々に液面にノロとして浮上してくるため、適宜鉄棒ですくい取ることによって、Si, Fe, Mn 成分を分離できることを確認した。さらに、ノロ分離後の溶体を鋳込む際、セラミックフィルターを通過させることによって細かいスラグ粒子を除去することができた。

③ LIB 熔融メタルの経済価値

得られた熔融メタルの経済価値を把握するため、ニッケル、コバルトのリサイクル業者にて売却単価の見積を得た。提出したサンプルは表 20 の RUN15,17 のメタルである。見積取得時のニッケル、コバルトの価格は、円換算にてニッケル 1,927 円/kg、コバルト 3,315 円/kg であった。

取得した見積価格は、ニッケル、コバルトの含有量から計算される資産価値に対して、約 3 割の価格であった。この結果から、熔融処理が経済的に成立するためには、熔融工程のコストを電池セル 1kg あたり 100 円程度とする必要があることがわかった。今回試験対象であるパソコン用の LIB であれば、熔融工程の変動費は電池セル 1kg あたり約 30 円程度であり、固定費を加味しても採算がとれる可能性は高い。ただし、事業化の検討にあたっては、LIB 中のニッケル、コバルト、マンガン成分次第で採算の試算が変動するため、実施する現地に合わせて具体的な採算性評価を行い、場合によっては、処理前にマンガン含有量に応じて LIB を分別しておく必要があると考えられる。

(4) リチウムイオン電池の熱処理・選別による銅回収

(3)では、LIB からコバルト、ニッケルのリサイクルを主目的としてリサイクル方法を検討した。近年、LIB の正極活物質にリン酸鉄系の酸化物を用いる例もみられている。リン酸鉄系の正極材の場合、LIB にはコバルト、ニッケルが含まれず、リサイクルの対象となる主要な成分は正負極の銅箔、正極のアルミニウム箔となる。含有量や金属価値を比較すると、

LIB から銅箔を高効率、高品位の状態で回収し、銅原料として売却することが、経済的なメリットは大きい。

LIB から高効率で銅を回収するには、銅とアルミの分離が必要不可欠である。しかし、熔融や湿式製錬手法を用いなければ、既存の機械的な選別技術で銅とアルミを分別することは困難である。LIB は銅箔とアルミ箔が積層されて構成されていることから、機械的な選別は困難であるが、手選別することは可能である。海外では、人件費の安さから、手選別による素材の分別が経済的に成り立つ可能性がある。

用いた SUS 製筐体の LIB の組成を表 21 に、試験フローを図 10 に示す。空気及び窒素通気中で、400 及び 800℃ で 2 時間保持した後、熱処理後、金属カッターにより筐体を切断し、電極部を回収し、手選・篩分けにて各種分離焼成産物を得た。

表 21 LIB の組成

元素	Co	Ni	Li	Cu	Fe	Al	Mn	その他
品位 (%)	2.1	1.9	1.8	7.8	35.0	4.3	13.8	33.4

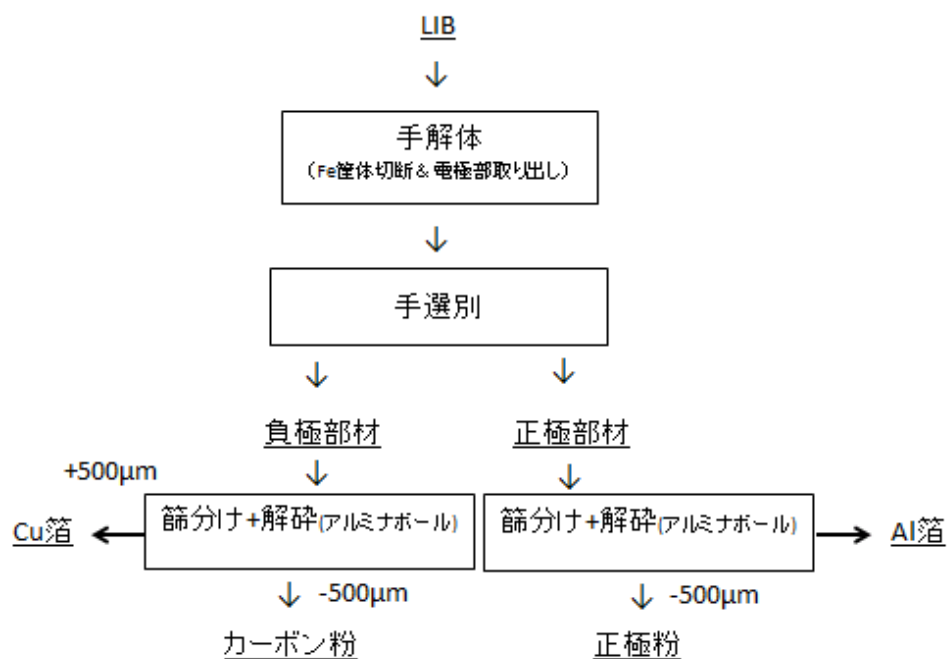


図 10 熱処理・手選別試験フロー

熱処理（焼成）の結果、LIB を空気雰囲気、800℃ で焼成しても、LIB 中の Cu 箔は変質（酸化など）しないことを確認した。Al 箔に関しては、400℃ 焼成では変質しないが、800℃ 焼成では変質・細粒化した。Fe 筐体は 400℃ 焼成では外観に変化がなかったが、800℃ 焼成で

はガス雰囲気にかかわらず表面が変質した。このことから、銅及びアルミの回収には 400℃での焼成が最適であることがわかった。

手選別試験は、400℃空気雰囲気下での焼成サンプルに対して行った。表 22 に銅及びアルミの品位及び回収率を示す。銅産物の銅品位は 99.9%(3N)、回収率約 97%、アルミ産物のアルミ品位は約 96% (Mn2.0%・Co&Ni0.2~0.5%)、回収率約 90%であった。このことから、得られた銅産物は高純度の銅原料として、高単価で売却が可能と思われる。銅及びアルミ産物の売却益は、電池セル 1kg あたり 60 円程度と見込まれるため、これ以下のコストで熱処理と手選別処理を行えば、有償での LIB のリサイクルが可能となる。中国や東南アジアでは、手選別処理は低コストで実施できる可能性があり、本手法は LIB のリサイクル手法としてより詳細な事業性を行う価値のあることがわかった。

表 22 銅及びアルミの品位及び回収率

	重量 (w t%)	品位 (ppm)		回収率 (%)	
		Cu	Al	Cu	Al
Cu 産物	9.2	999,422	27	96.7	0.0
Al 産物	4.1	1,887	964,325	0.1	90.0
カーボン粉	10.3	6,484	145	0.7	0.0
正極粉	29.6	4,202	11,512	1.3	7.7
Mix 粉 (+ 500 μ m)	0.6	85,061	147,713	0.5	2.0
Mix 粉 (-500 μ m)	12.3	5,429	998	0.7	0.3
Fe 筐体	33.9			0	0

(5) まとめ

以上の調査結果から、廃電気電子製品から得られる、①電子基板などの銅を主体として少量の不純物を含んだリサイクル原料に対しては、バスケット電解による小規模湿式製錬手法が、②ニッケル・コバルトを含んだリチウムイオン電池に対しては、焼成及び磁選による前処理の後、電気炉による小規模乾式製錬手法が、③ニッケル・コバルトの含有量の少ない、銅主体のリチウムイオン電池に対しては、焼成・手選別手法が、それぞれ現地で適用できる可能性のある技術であることがわかった。コストや産物の品位・評価額を比較した結果、採算性に関してもより詳細に検討する価値がある。

次の段階として、事業化の検討にあたっては、集荷される原料の性状や、人件費、収運コスト、産物の評価額等、現地の詳細な情報を得て、具体的な採算性評価を行っていく必要がある。

3.2 考察

本章では、前章の調査結果も踏まえつつ、静脈資源に関する発生量と環境影響、Formal Sector 及び Informal Sector の関係、回収及び処理施設の立地、物流及び貿易について理論的及び実証的分析を行う。

3.2.1 廃家電製品に由来する潜在的資源性及び潜在的汚染性の評価：アジア新興国における将来予測と比較分析

3.2.1.1 背景と目的

廃棄物の適正処理やリサイクルに向けた戦略・計画の立案のためには、現在から将来にかけて、どのような種類、どのくらいの量の製品が廃棄物となり家庭や事業所から排出されるか、精確に推計することが求められる。ただし、需要の発生（製品の購入）から廃棄物となるまでの期間及び割合は一定ではなく、それぞれの製品への将来の需要量も不確定である。特に、アジア新興国のように人口が多く、なおかつ経済発展に伴う生活水準の向上が顕著である国では、製品の需要量や廃棄量が将来的に大きく増加することが予測される。そのため、実際に観察された現在までの統計データのみに基づいて、直接的に将来の廃棄量を予測することは不可能である。ここでは、需要の発生から廃棄までの製品の運命をモデル化し、数値的に推計することが有効である。

耐久消費財の中には、製品としての寿命を終えて廃棄物となった時点で回収及びリサイクルされれば、二次資源として再び有効活用できるものがある。こうした潜在的な資源性の一方で、金属など毒性を持つ物質が適正に管理されず、大気・水・土壌といった環境中に排出されれば、それらは人間健康や生態系に対して影響を及ぼす可能性がある。そのため、適正管理とリサイクルの計画立案には、単に廃棄物の発生量を予測するだけでは十分とは言えない。将来的に廃棄される製品に含有される素材について、製品が生産された時点ごとの含有量の差異も考慮しつつ、推計する必要がある。さらに、それぞれの素材が潜在的に持つ資源としての価値や、その表裏としての物質の汚染性について評価することで、どのような物質についての適正管理や二次資源の回収に注力するべきか、そのために開発・導入・整備すべき処理またはリサイクルの技術といった、より具体的な施策について検討することができる。特に、中長期的に二次資源の回収と環境影響の低減を両立するためには、戦略的なリサイクルシステムの構築が求められることは言うまでもないが、そのためには基礎的な情報として、中長期的な将来の廃棄物発生量の推計に基づく、潜在的な二次資源の回収可能量や人間・生態毒性の影響量の評価と分析が必要とされる。

本章では、耐久消費財の中でも家電製品を対象として、戦略的なリサイクルシステムの構築に資する基礎的な情報として、潜在的資源性と潜在的汚染性の両面から、潜在的影響を評

価・分析するための手法と枠組みを提示する。さらに、家電製品のうち廃テレビを対象として、アジアにおける代表的な新興国である中国及びタイにおける事例に適用する。

3.2.1.2 廃棄物発生量の将来推計のためのパラメータ推定

まず、対象とする地域（国）の世帯数、対象とする家電製品の保有台数の推移と寿命分布、製品種類（技術）ごとの普及率の推移など、中長期的な将来の販売台数と廃棄台数の推計のために必要とされるパラメータを推定する。分析対象とする各国について、1995年から2030年までのブラウン管（CRT）及び薄型（FPD）テレビに関わるパラメータの推定について述べる。パラメータ推定は、以下に述べる4段階によって構成される。

(1) 都市部と農村部における世帯数

中国における事例では、国家統計（NMBC 1995-2013）に基づく各年の都市部及び農村部の人口、単身を除く世帯（家族世帯）の平均世帯人数と、10年ごとの単身及び家族世帯の世帯数（実測値）をもとに、都市部における家族世帯の割合を75%と仮定して、2012年までの都市部及び農村部の世帯数を算定した。さらに、Greenhouse Gas Initiative（GGI）の「シナリオ B2」による2020年及び2030年の都市部と農村部の人口予測（IISA・HP）をもとに、2013年から2019年と2021年から2029年の人口を内挿によって算定した上で、家族世帯の平均世帯人数が2012年以降は不変と仮定し、2030年までの都市部と農村部の世帯数を推計した。図1に、世帯数の実測値と推計値を示した。都市化や都市部への人口流入によって、農村部の世帯数は減少傾向にあるが、全体の世帯数は2030年まで増加傾向にあるものと推計された。

さらに、タイにおける事例についても、国家統計（NSO・HP a：HP b）に基づく各年の都市部及び農村部（非都市部）の人口と5年ごとの世帯数（実測値）をもとに、世帯数が欠落した年の平均世帯人数を内挿（一部は外挿）によって仮定して、2010年までの都市部及び農村部の世帯数を推計した。GGIのシナリオ B2による2020年及び2030年の都市部と農村部の人口予測（IISA・HP）をもとに、家族世帯の平均世帯人数が2010年以降は不変と仮定し、2030年までの都市部及び農村部の世帯数を推計した（図11）。タイについては、中国と同様の推移が見られ、農村部の世帯数は減少傾向にあるが、全体の世帯数は2030年まで増加傾向にあるものと推計された。

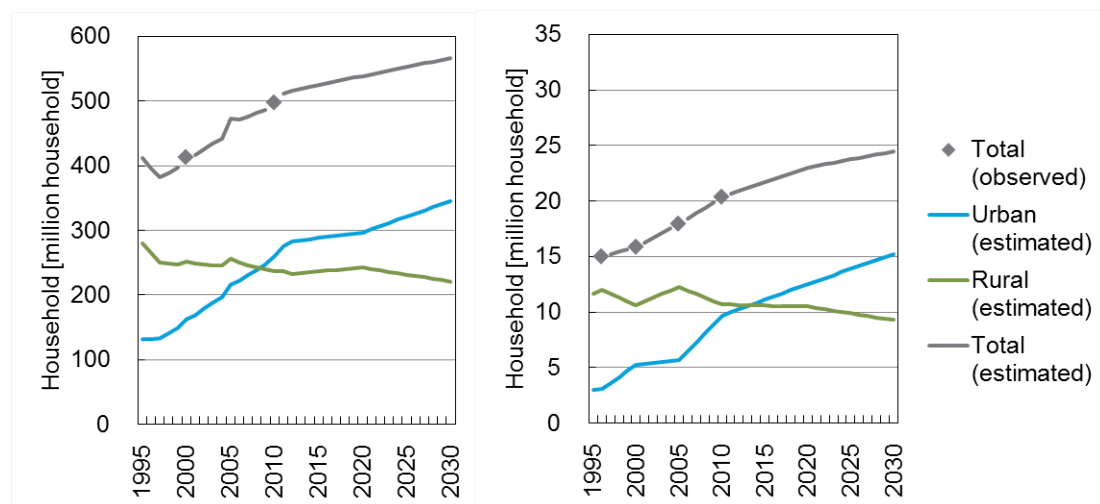


図 11 中国（左）及びタイ（右）の都市部と農村部における世帯数の推移

(2) 都市部と農村部におけるテレビの保有台数

次に,対象とする家電製品の世帯保有率を推計する。ここでは,家電製品を保有している世帯の割合ではなく,対象地域の全保有台数を世帯数で割った値を「保有率」と定義していることに注意が必要である。保有率の将来推計には,Tasaki *et al.* (2001) 及び Liu *et al.* (2006) によって提示された (1) 式による推計が適用できる。

$$p(t) = p_{max} / (1 - b_0 \cdot e^{-b_1 \cdot (t-t_0)}) \quad (1)$$

$p(t)$: t 年末における保有率 [台/世帯]

p_{max} : 最大保有率 [台/世帯]

b_0, b_1 : 推定されるパラメータ

この推計方法に従って,2012 年（中国）または 2010 年（タイ）までの都市部と農村部におけるテレビの世帯保有率の実測値（NMBC 1995-2010 ; NSO・HP a : HP b）から最小二乗法によってパラメータを推定し,それぞれ 2030 年までの保有率を推計した（図 12）。最大保有率は外生的に与える必要があり,Zhang *et al.* (2011) による中国の事例における保有率の飽和水準（1.496 台/世帯）を,各国の都市部及び農村部における最大保有率とした。

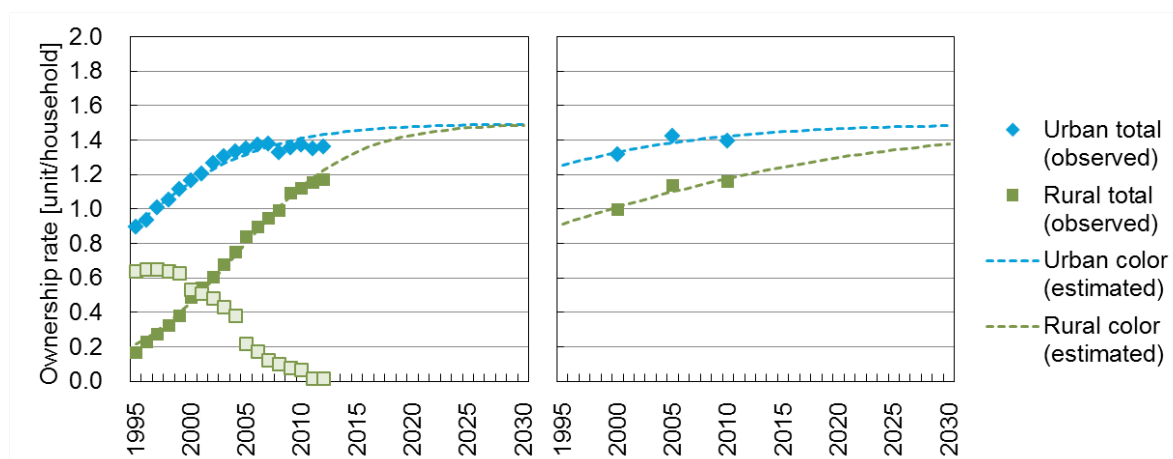


図 12 中国（左）及びタイ（右）の都市部と農村部におけるテレビの保有率の推移

以上の保有率の推計値に,対象地域の世帯数（図 11 参照）を乗じることで,都市部及び農村部におけるテレビの保有台数の総計が推計される（図 13）。中国における事例では,地方部における白黒テレビの保有台数も示したが,2012 年の時点でテレビの保有台数に占める白黒テレビの割合は 0.5%と十分に小さい。タイについては,近年の白黒テレビの保有台数に関わる統計データは公表されていないが,中国と同様に,その保有台数は十分に小さいものと考えられる。そのため,廃テレビの発生量の将来推計において白黒テレビは無視しうるものと考え,以降ではカラーテレビのみを対象とした分析結果を示す。

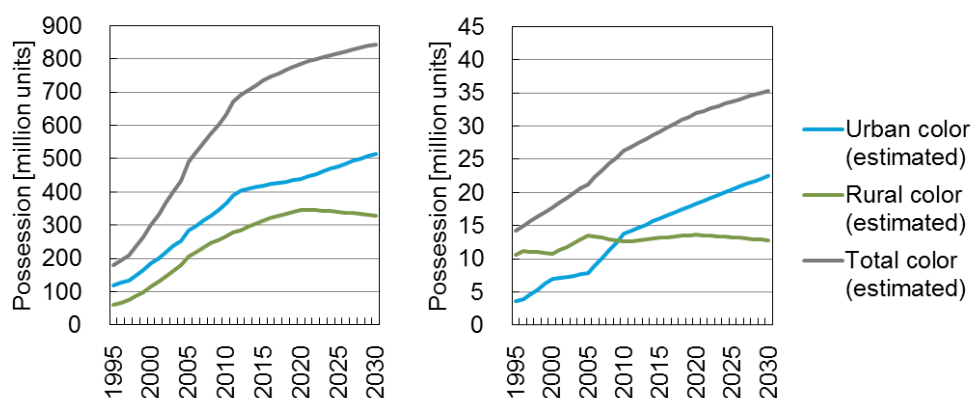


図 13 中国（左）及びタイ（右）の都市部と農村部におけるテレビの保有台数の推移

(3) テレビの寿命分布

さらに,対象とする家電製品の寿命の分布を推計する必要がある。ここでは,(2) 式に示した Tasaki *et al.* (2001 ; 2004) 及び Oguchi *et al.* (2006 ; 2008 ; 2010) によるワイブル分布を

用いた推計が適用できる。

$$W(y) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{y}{\bar{y}} \right)^b \left\{ \Gamma \left(1 + \frac{1}{b} \right) \right\}^b \right] \quad (2)$$

$W(y)$: ワイブル分布の累積分布関数

$\bar{y}$: 平均寿命 [年]

b : 推定されるパラメータ

ここでは,Zhang *et al.* (2011) による平均寿命 (12 年) 及びパラメータ b (中国の都市部と農村部の単純平均) を用いて,テレビの寿命分布を推計した。ただし,寿命分布は 2030 年まで不変であると想定している。また,以降の分析において,CRT テレビと FPD テレビで寿命分布に差はないものと仮定する。

(4) CRT 及び FPD テレビの比率

まず,中国における 2005 年から 2010 年までの CRT 及び FPD テレビの生産台数の実測値 (GAC 2005-2010) をもとに,FPD テレビの割合に (3) 式のようなロジスティック回帰を適用して,1995 年から 2030 年までの生産台数に占める FPD テレビの割合を推計した。この中国における各年の FPD テレビの割合が,タイについても等しいものと仮定した。

$$r(t) = \exp(b_0 + b_1 \cdot t) / \{1 + \exp(b_0 + b_1 \cdot t)\} \quad (3)$$

$r(t)$: t 年における生産台数に占める新種製品の割合

t : 年次 ($t = 0$: 2000 年)

b_0, b_1 : 推定されるパラメータ

次に,生産台数に占める CRT テレビと FPD テレビの比率が,国内販売についても等しいものとすれば,3.2.1.3. (1) で述べる国内販売台数における CRT 及び FPD テレビの内訳が求められる。さらに,3.2.1.2. (3) で推計したテレビの寿命分布を用いることで,それぞれの普及率(テレビの保有台数に占める割合)を推計することもできる。

3.2.1.3 家電製品の廃棄量の推計

次に,3.2.1.2. で推定したパラメータに基づいて,製品レベル及び元素レベルでの中長期的な物質フローを分析する。すなわち,対象とする家電製品の将来の販売台数と廃棄台数を推計し,さらに家電製品への各種素材の含有量をもとに,それぞれの蓄積量と回収可能量を算定する。分析対象とする各国について,2030 年までの CRT 及び FPD テレビの国内販売台数

と廃棄台数と,15種類の金属を対象として,それぞれの蓄積量及び回収可能量の推計について述べる。

(1) CRT 及び FPD テレビの国内販売台数と廃棄台数

まず,製品レベルでの物質フローとして,過去から現在までの国内販売台数と,3.2.1.2. (4) で推計した製品種類ごとの比率,3.2.1.2. (3) で推計した寿命分布をもとに,現在までのテレビの廃棄台数を推計することができる。その上で,3.2.1.2. (2) で推計した各年の保有台数に合わせて,(4) 式を用いて逐次的に,将来の国内販売台数及び廃棄台数が算定される。

$$P(t) = P(t - 1) + S(t) - D(t) \quad (4)$$

$P(t)$: t 年末における保有台数 [百万台]

$S(t)$: t 年における国内販売台数 [百万台]

$D(t)$: t 年における廃棄台数 [百万台]

中国における事例では,2012 年までのカラーテレビの国内販売台数は,各年の生産台数 (NMBC 1995-2010) 及び輸出入台数 (Yearbook of China Information Industry 1995-2010) の国家統計から求めた。図 14 に,2012 年までの国内販売台数 (実測値) と,各年の国内販売台数及び廃棄台数の推計値を示した。

タイについては,テレビの生産台数は 2008 年まで公表されているが (NSO・HP c),統計データのカバー率が生産能力ベースで 61%であることを考慮して,上記の生産台数を 0.61 で割ることで求めた。カラーテレビの輸出入台数は,2006 年までは国際統計 (ITC・HP) による輸出入額と 2006 年の単価 (輸出: 169 \$/台,輸入 219 \$/台) を用いて算定した。2007 年及び 2008 年の輸入台数については,2006 年と等しいと仮定した。2007 年及び 2008 年の輸出台数については,国家統計 (MOC・HP) による 2006 年から 2008 年のテレビの輸出額の推移を,ITC (HP) による 2006 年のカラーテレビの輸出台数に当てはめることで仮定した。その上で,各年の国内販売台数及び廃棄台数を推計した (図 14)。

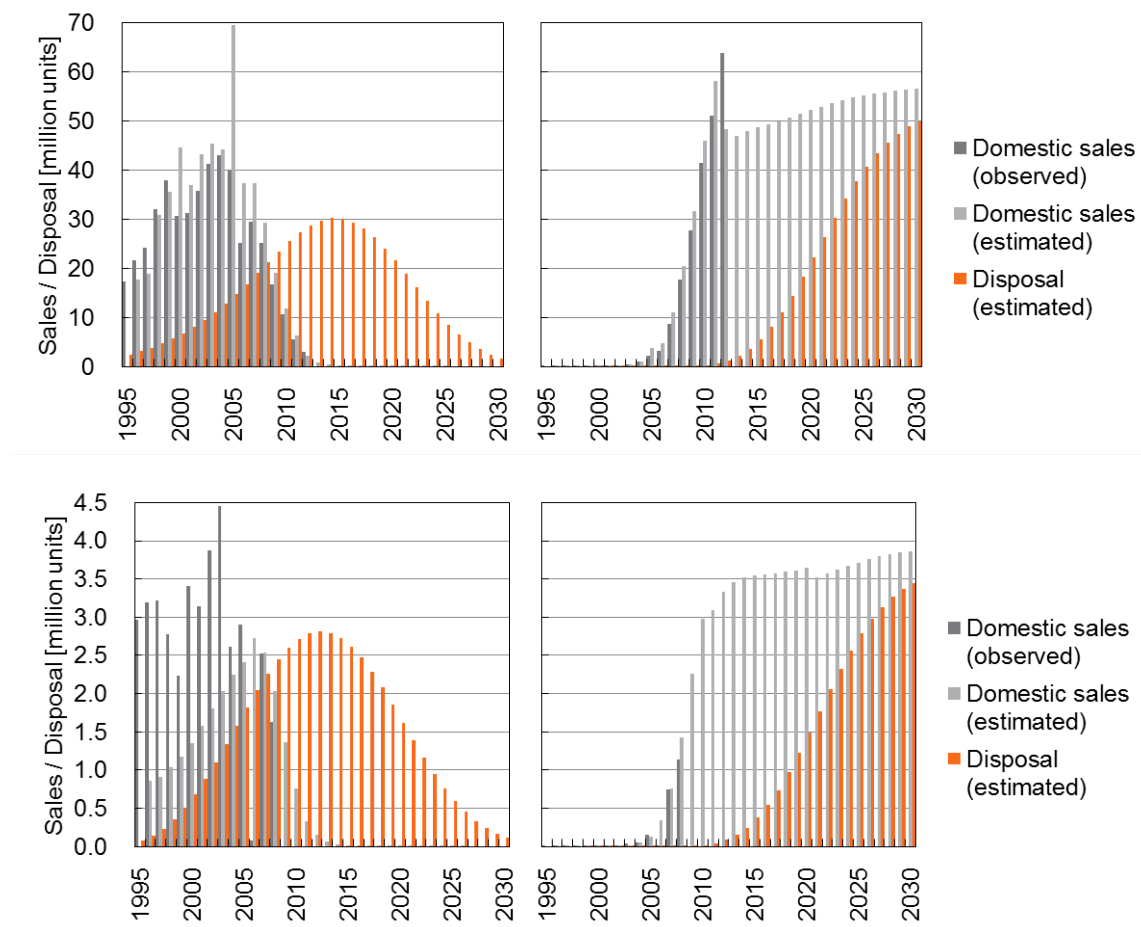


図 14 中国（上）及びタイ（下）における CRT テレビ（左）と FPD テレビ（右）の国内販売台数及び廃棄台数の推移

中国におけるテレビの廃棄台数としては、テレビの寿命が一律 10 年と設定されるなど単純な推計ではあるものの、喬他（2013）による推計事例があり、2010～2015 年の廃棄台数は 23.8～30.7 百万台と推計されている。図 14 の推計結果では、同じ期間の廃棄台数は 25.8～35.6 百万台であり、やや乖離はあるものの、両者は近い値となっている。

ここで、図 14 には、(4) 式を用いて保有台数と廃棄台数の推計値から算定した 2012 年までの国内販売台数の推計値も示した。これらを実測値と比較すると、中国については、短期的な変動による誤差を除けば比較的良好に当てはまっているが、タイについては 2005 年までの推計値が過小になっている。ただし、タイではテレビの生産台数に占める輸出台数の割合が高いことから、それらと輸入台数の差引によって算定される国内販売台数（実測値）の精度に問題がある可能性もある。一方、3.2.1.2. (3) で述べたように寿命分布を考慮したことで、各国の廃棄台数の推計値においては、国内販売台数の短期的な変動が打ち消され、安定した結果

が得られているものと言える。

(2) CRT 及び FPD テレビに含有される金属の蓄積量と回収可能量

さらに,元素レベルでの物質フローとして,家電製品への各種素材の含有量と 3.2.1.3. (1) で推計した国内販売台数及び廃棄台数から,それぞれの蓄積量と潜在的な回収可能量（廃家電製品に含有される各種素材の全重量）を推計することができる。素材含有量については,Habuer *et al.* (2014) が用いているように,家電製品の部品ごとの重量と各部品への素材含有量をもとにした推計が有効である。

ここでは,15 種類 (Al,Fe,Co,Ni,Cu,Zn,Sr,Pd,Ag,Sn,Sb,Ba,Au,Pb,Bi) の金属を対象として,CRT 及び FPD テレビへの含有量から,各国における国内販売による蓄積量と廃棄による潜在的な回収可能量を推計した。FPD テレビへの含有量は,LCD テレビの部品ごとの重量をもとに推計した。これらのうち重量の大きい 6 種類の金属について,蓄積量と回収可能量の推移を図 15 に示した。

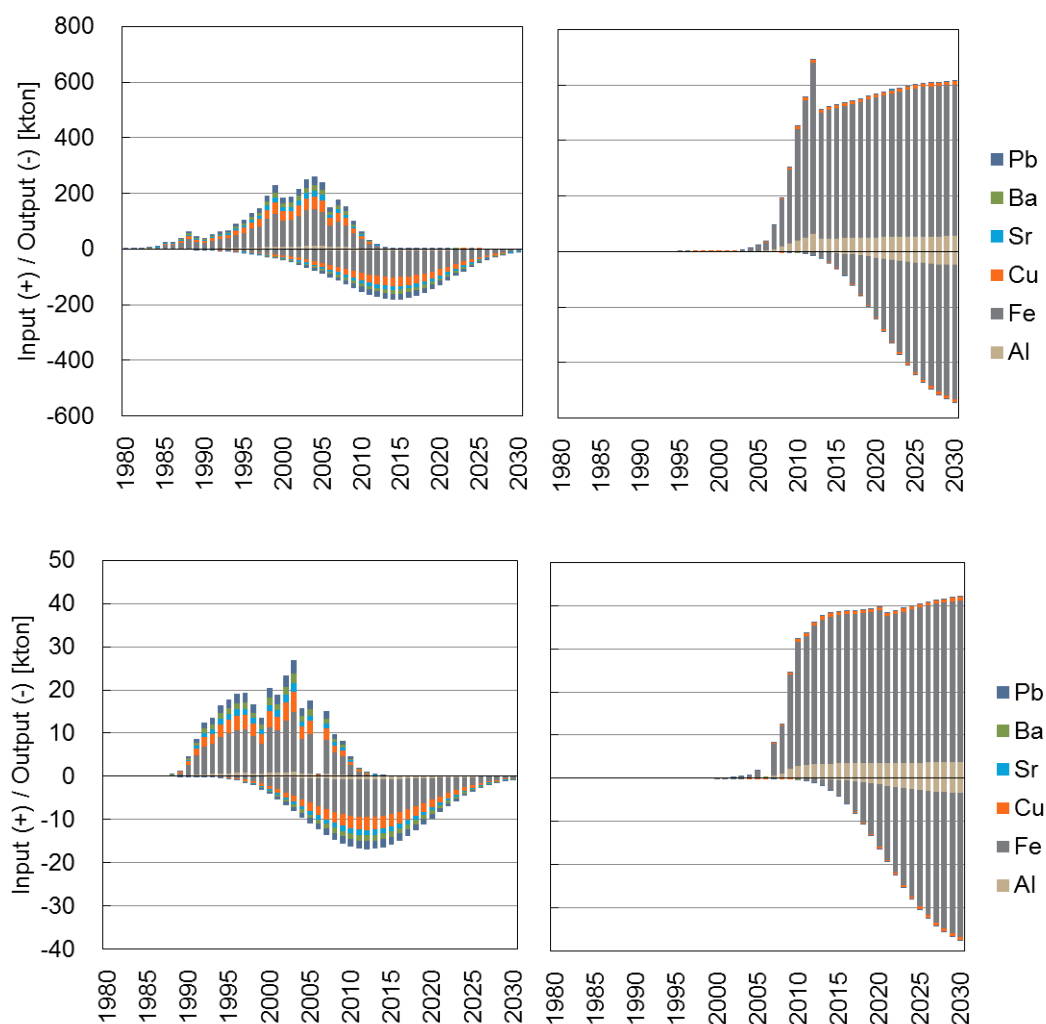


図 15 中国（上）及びタイ（下）における CRT テレビ（左下）と FPD テレビ（右下）に含有される金属の蓄積量及び回収可能量の推移

3.2.1.4 潜在的資源性の評価

(1) ReCiPe 2008 における資源利用可能性の特性化

LCIA の分野で開発された資源の特性化手法を適用することで、3.2.1.3. で推計された二次資源を回収・リサイクルすることによる潜在的な資源性を、廃棄された製品に含有される各素材の全重量が二次資源として回収されたと仮定した場合の社会的費用の低減可能性として評価することができる。資源枯渇または資源消費には様々な特性化モデルがあるが、ここでは欧州における最新の LCIA 手法である ReCiPe 2008 (Goedkoop *et al.* 2013) が提示している「資源利用可能性」のエンドポイントの特性化について説明する。資源利用可能性への被害（超過費用）は、「資源採掘の結果として社会にかかる追加的な費用（将来の採掘費用の増加）の現在価値」と定義されており、その特性化係数は、単位量の資源の消費に伴う社会的費用を将来的な採掘費用の増加として評価したものと解釈される。

ここで、ある年次における資源 1 kg の消費によって、それ以降の各年に発生する 1 年当たりの費用増加（割引なし）は、 $MCI_c \times P_c$ で表される。このことから、将来（ $2010 + t_0$ 年）の資源消費による超過費用は、(5) 式における積分期間の開始年次（ $t = 0$ ）を、基準とする年次（2010 年）から $t = t_0$ に変化させる、すなわち特性化係数に t_0 年分の割引率を適用することで算定できる。

(2) 二次資源の回収による社会的費用の低減可能性の評価

上記のように割引率を適用することで、年次ごとの各種金属の特性化係数 [\$/kg] が算定される。これらを 3.2.1.3. (2) で推計した蓄積量及び回収可能量に乘じ、全ての金属種類について加算することで、各年の家電製品の生産・販売における一次資源の消費による社会的費用の増加と、廃家電製品からの二次資源の回収による潜在的な社会的費用の低減を推計することができる。図 16 には、中国における事例について、CRT 及び FPD テレビの国内販売（一次資源の消費）による社会的費用の増加（正方向の棒グラフ）と、廃棄されたテレビからの二次資源の回収による潜在的な社会的費用の低減（負方向）を示した。

この評価結果から、社会的費用の増加に対しては、2005 年ごろまで CRT テレビの寄与が大きく、2010 年ごろからは FPD テレビの寄与が大きな割合を占めることが分かる。二次資源の回収による社会的費用の減少（潜在的資源性）については、CRT テレビの寄与は 2015 年ごろまで大きな割合を占めている。また、将来の資源消費に割引率を適用していることから、テレビの生産・販売による一次資源の消費による影響は、2013 年以降は漸減している。一方で、廃棄台数の増加（図 14 参照）に伴って潜在的資源性は大きくなり、2025 年にピークとなる。

そのため、2030 年ごろには、テレビの生産・販売による社会的費用の増加と、二次資源の回収の潜在的資源性（最大限の効果）が同等の水準になると推計された。

同様に、タイにおける事例について、テレビの国内販売による社会的費用の増加と二次資源の回収による社会的費用の低減を図 16 に示した。2010 年ごろから横ばいの傾向が見られる。これは、現在までのタイにおけるテレビの保有率が中国と比べて高く、2005 年ごろには頭打ちになっているためである（図 12 参照）。また、タイでは CRT テレビから FPD テレビへの技術移行が進む前からテレビの保有率が高かったことから、CRT テレビからの二次資源の回収の潜在的資源性が相対的に大きいことも分かる。

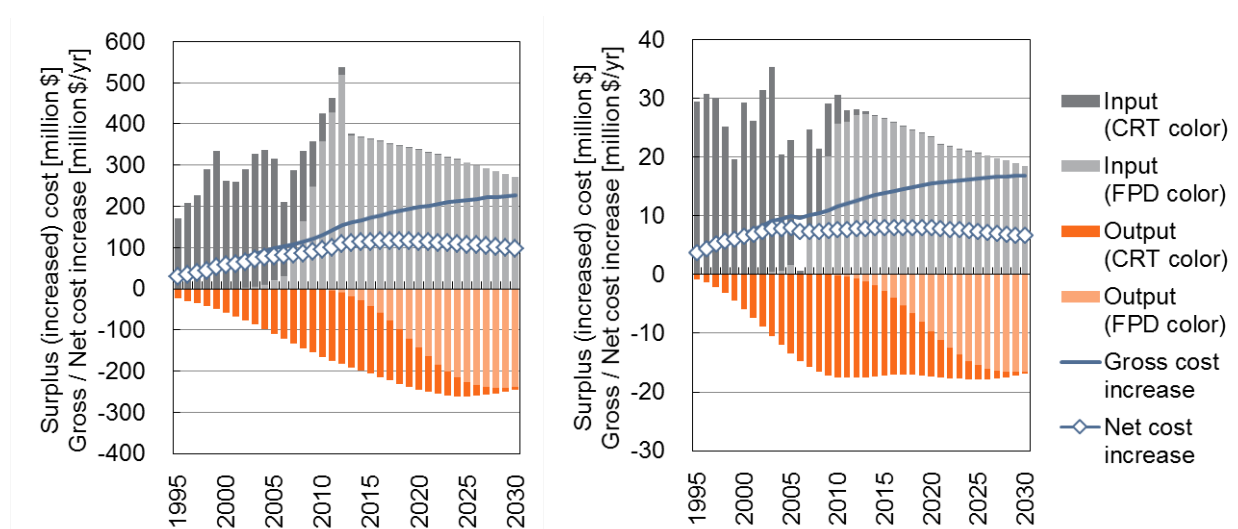


図 16 中国（左）及びタイ（右）におけるテレビの国内販売と廃テレビからの二次資源の回収による社会的費用の増加と低減

3.2.1.5 潜在的汚染性の評価

(1) ReCiPe 2008 における人間毒性と生態毒性の特性化

金属の環境中への排出（汚染性）に関わる影響領域としては、「人間毒性」及び「生態毒性」がある。ただし、ReCiPe 2008 において後者は「陸域生態毒性」「淡水生態毒性」及び「海域生態毒性」に分類されている。エンドポイントとしては、人間毒性は死亡と疾病を含む「人間健康」への被害と、生態毒性は種の消失によって表される「生態系多様性」への被害と、それぞれ関係付けられている。また、一次排出先（大気、水、土壌）によって毒性の影響量は異なるため、それぞれについて特性化係数が算定されている。

(2) 廃家電製品に含有される金属による潜在的な人間・生態毒性の評価

ここでは、ReCiPe 2008 におけるエンドポイントの特性化係数を用いて、廃家電製品に由来

する潜在的な汚染性を,含有される各種金属の全重量が環境中に排出されたと仮定した場合の人間毒性及び生態毒性の影響として評価する。ただし,電気電子機器の廃棄物処理プロセスでは金属の大部分が最終的に埋立処分されることから (Lim & Schoenung 2010 ; Oguchi *et al.* 2012) ,土壌排出の特性化係数を適用した。また,廃テレビへの金属の含有量は 3.2.1.3. (2) で推計した回収可能量 (負方向の棒グラフ) に等しいものとする。各国における事例について,各種金属の含有量に特性化係数を乗じ,全ての金属種類について加算することで,各年に廃棄されるテレビに由来する人間毒性及び生態毒性の潜在的影響量を評価した (図 17)。

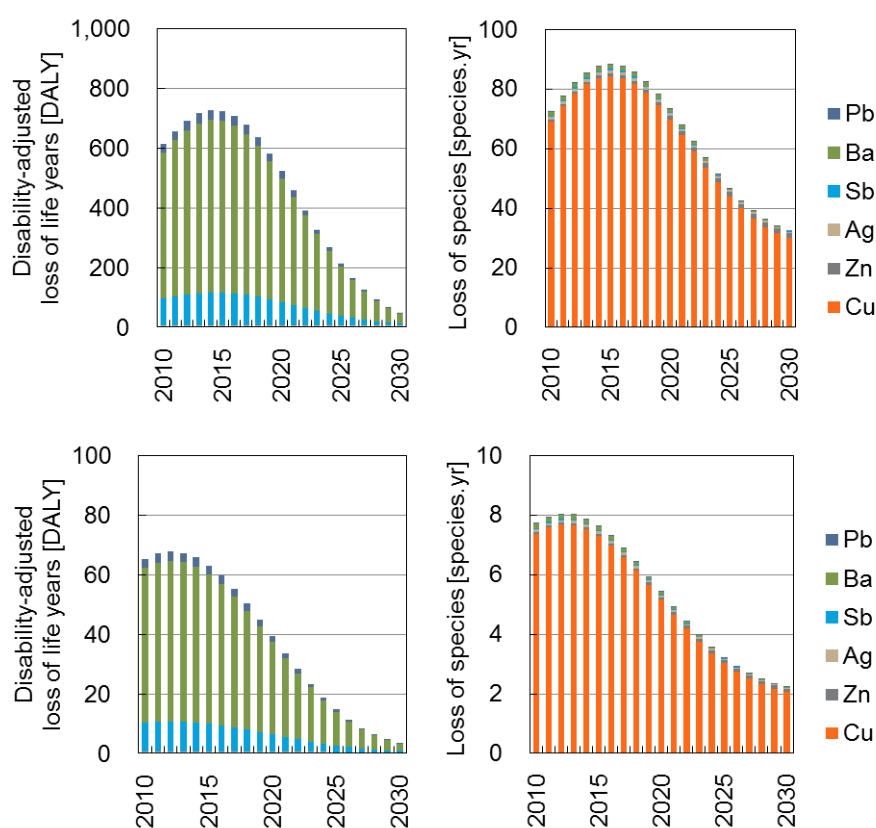


図 17 中国 (上) 及びタイ (下) における廃テレビに由来する人間毒性 (左) 及び生態毒性 (右) の潜在的影響量

これらの評価結果からは,人間健康への被害に対してはバリウム (Ba) ,生態系多様性への被害に対しては銅 (Cu) の寄与が支配的であることが分かる。また,中国については 2014~2015 年,タイは 2012~2013 年が影響量のピークとなっているが,これらは各国における CRT テレビの廃棄台数 (図 14 参照) のピークと一致する。影響量が大きい Ba は CRT パネルガラス,Cu は CRT 基板や銅ケーブルの寄与が大きく,CRT テレビと比べて FPD テレビへの含有

量は小さいため（図 15 参照）、潜在的汚染性の推移は CRT テレビの廃棄量に依存することが分かる。

3.2.1.6 まとめ

以上の評価結果をもとに、廃テレビに由来する潜在的資源性（二次資源の回収）と潜在的汚染性（含有される金属の環境中への排出）の両面の影響について、各国における 2030 年までの推移を分析する。図 18 には、中国における事例について、二次資源の回収による社会的費用の低減を負方向の棒グラフで、人間毒性（人間健康への被害）及び生態毒性（生態系多様性への被害）の影響量を線グラフで示した。潜在的資源性（2025 年）と潜在的汚染性（2014～2015 年）ではピークが一致しないことが分かる。

同様に、タイにおける事例について、二次資源の回収による社会的費用の低減と、人間毒性及び生態毒性の影響量を図 18 に示した。3.2.1.4. (2) で述べたように、CRT テレビから FPD テレビへの技術移行が進む前からテレビの保有率が高かったことから、潜在的資源性は 2010 年ごろから横ばいの傾向が見られ、潜在的資源性と潜在的汚染性の両面で 2012 年ごろに影響のピークがある。

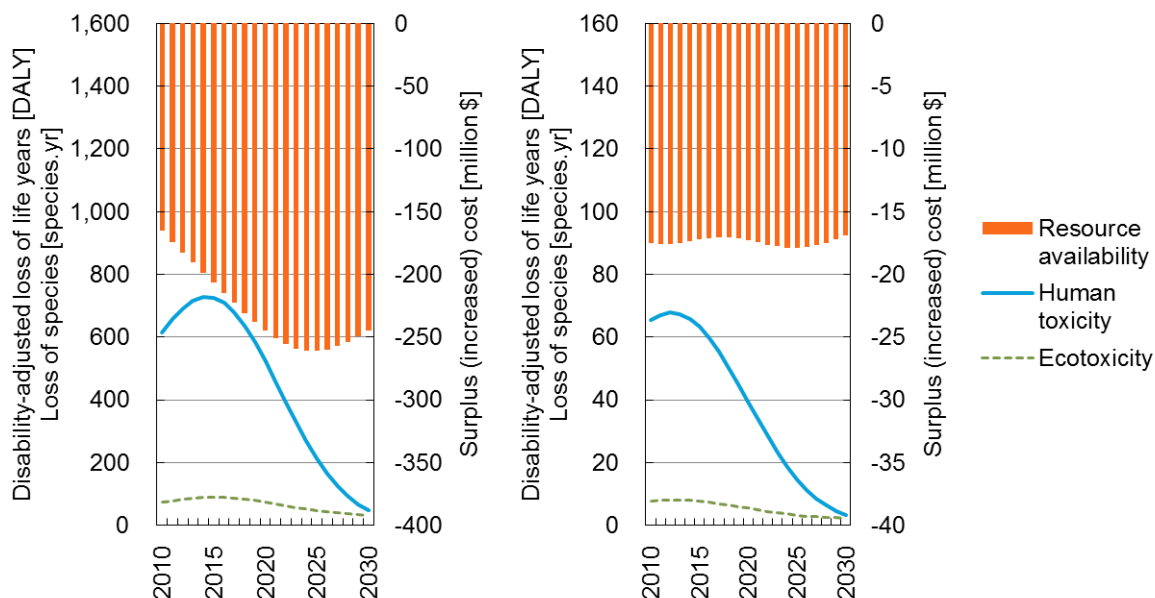


図 18 中国（左）及びタイ（右）における廃テレビに由来する潜在的資源性と潜在的汚染性の推移

これらの結果からは、各国について、より短期的な課題と中長期的な課題への示唆が得られる。すなわち、リサイクルのための破碎・選別などを含む廃棄物処理プロセスにおける金属の環境中への排出抑制については、CRT テレビの廃棄量がピークに近づくまでに対策が求められる。特に、すでに現時点（2015 年）でピークを過ぎたタイにおいては、より喫緊の課題であると言える。一方、二次資源の回収については、各国において CRT テレビと FPD テレビを合わせた廃棄量がピーク付近にある 2020～2030 年ごろまでは、リサイクル技術の開発・導入・整備を推進する意義は大きいものと言える。

（参考文献）

GAC: General Administration of Customs (2005-2010): *China Custom Statistical Yearbook 2005-2010*

Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J., and Van Zelm, R. (2013): “ReCiPe 2008. A Life Cycle Impact Assessment Method Which Comprises Harmonised Category Indicators at the Midpoint and the Endpoint Level,” First Edition (revised), Report I: Characterisation

IIASA: International Institute for Applied Systems Analysis (HP): “GGI Scenario Database Version 2.0.1,” <http://webarchive.iiasa.ac.at/Research/GGI/DB/index.html/?sb=5>

ITC: International Trade Center (HP): “Trade Map,” <http://www.trademap.org/Index.aspx>

Lim, S.R. and Schoenung, J.M. (2010): “Human Health and Ecological Toxicity Potentials due to Heavy Metal Content in Waste Electronic Devices with Flat Panel Displays,” *Journal of Hazardous Materials* 177 (1-3), pp. 251-259

Liu, X., Tanaka, M., and Matsui, Y. (2006): “Generation Amount Prediction and Material Flow Analysis of Electronic Waste: A Case Study in Beijing, China,” *Waste Management Research* 24 (5), pp. 434-445

MOC: Ministry of Commerce (HP): “Foreign Trade Statistics of Thailand,” <http://www2.ops3.moc.go.th/>

NMBC: National Bureau of Statistics of China (1995-2013): *China Statistical Yearbook 1995-2013*

NSO: National Statistical Office (HP a): “The 1990-2010 Population and Housing Census,” http://web.nso.go.th/en/census/poph/cen_poph.htm

NSO: National Statistical Office (HP b): “The Survey of Population Change 2005,” http://web.nso.go.th/en/survey/popchan/pop_change.htm

NSO: National Statistical Office (HP c): “Production of Manufactured Goods by type of

Production Activity 2001-2005, 2003-2008,”

http://service.nso.go.th/nso/nso_center/project/search_center/23project-en.htm

Oguchi, M., Kameya, T., Tasaki, T., Tamai, N., and Tanikawa, N. (2006): “Estimation of Lifetime Distributions and Waste Numbers of 23 Types of Electrical and Electronic Equipment,” *Journal of the Japan Society of Waste Management Experts* 17 (1), pp. 50-60 [in Japanese]

Oguchi, M., Kameya, T., Yagi, S., and Urano, K. (2008): “Product Flow Analysis of Various Consumer Durables in Japan,” *Resources, Conservation and Recycling* 52, pp. 463-480

Oguchi, M., Murakami, S., Tasaki, T., Daigo, I., and Hashimoto, S. (2010): “Lifespan of Commodities, Part II: Methodologies for Estimating Lifespan Distribution of Commodities,” *Journal of Industrial Ecology* 14 (4), pp. 613-626

Tasaki, T., Oguchi, M., Kameya, T., and Urano, K. (2001): “A Prediction Method for the Number of Waste Durable Goods,” *Journal of the Japan Society of Waste Management Experts* 12 (2), pp. 49-58 [in Japanese]

Tasaki, T., Takasuga, T., Osako, M., and Sakai, S. (2004): “Substance Flow Analysis of Brominated Flame Retardants and Related Compounds in Waste TV Sets in Japan,” *Waste Management* 24 (6), pp. 571-580

Yearbook of China Information Industry ed. (1995-2010): *Yearbook of China Information Industry 1995-2010*

Zhang, L., Yuan, Z., and Bi, J. (2011): “Predicting Future Quantities of Obsolete Household Appliances in Nanjing by a Stock-based Model,” *Resources, Conservation and Recycling* 55 (11), pp. 1087-1094

喬琦・劉強・劉景洋 他 編著 (2013): 『我国静脈産業発展戦略』, 中国環境出版社, 北京, 189 pp. [in Chinese]

3.2.2 リサイクルに関する Formal Sector と Informal Sector の関係

3.2.2.1 理論的分析：ハードローの役割と限界

先進国におけるリサイクルと比較した場合、新興国におけるリサイクルの最も大きな特徴の一つとして挙げられるのがインフォーマルセクターの果たす役割の大きさである。例えばアジアやラテンアメリカの国々では、最大で人口の 2%ほどがインフォーマルなごみの回収で生計を立てていると言われている(Medina, 2000)。また、Wilson et al. (2006)によれば、中国の都市部では 330～560 万人がインフォーマルな廃棄物回収・リサイクルに従事し、都市ごみの 17～38%がこれらの部門によって回収されている。さらに、公的なごみ処理サービスが存在しない地域においては、インフォーマルセクターによるごみ処理が重要な生活

インフラを形成している場合も少なくない。このように、新興国では、リサイクルの重要な担い手としてインフォーマルセクターが大きな役割を果たしている。

しかし、その一方でインフォーマルセクターによるリサイクルには問題も多い。最も大きな問題となるのが不適切なリサイクルに伴う汚染の発生である。多くの場合、使用済み製品には環境に有害な物質も含まれており、リサイクルを行う際には適切な汚染防止手段を取る必要がある。しかし、法律の枠の外に存在しているインフォーマルセクターによるリサイクルの場合、汚染防止措置が取られることは稀であり、汚染を伴ったリサイクルが行われてしまう。また、インフォーマルセクターがフォーマルセクターによるリサイクルを阻害するという問題も発生する。多くの場合、インフォーマルセクターによるリサイクルは汚染防止措置を伴わないため、フォーマルセクターに比べ安い費用でリサイクルを行うことができる。この価格競争力によってインフォーマルセクターに使用済み製品が集まり、フォーマルセクターによるリサイクルが停滞するという事態が発生してしまう。これは、特に先進国の企業が新興国において静脈産業事業を行おうとする際に深刻な問題となる。先進国のリサイクル事業社が新興国に進出しても原料となる使用済み製品がインフォーマルセクターに流れてしまい、事業が継続できなくなるという事態に陥る可能性があるためである。新興国における静脈産業の発展のためには、インフォーマルセクターによるリサイクルの問題をいかにして解決するかが重要となる。

インフォーマルセクターの問題に対する最も一般的な対策としては、罰則の強化のような取り締まり政策が挙げられる。しかし、そもそもインフォーマルセクターは摘発が難しく、また、インフォーマルセクターの活動を規制することは多くの人々にとって働き口を失うことを意味するため、単純な規制の強化による対策には限界がある。その一方で、近年見られるようになっているのが、インフォーマルセクターのフォーマル化である。これは、従来インフォーマルに活動していた主体をフォーマルセクターとして認め、法律の枠内で活動させる試みであり、実際、中国などでは一部の地域でこのような動きが観察されている（細田・染野, 2014）。

そこで、本研究ではインフォーマルセクターによるリサイクルの問題に対して経済理論を用いた分析を行った。具体的には、インフォーマルセクターによるリサイクルへの対策として用いられている代表的な2つのタイプの政策（罰則政策、フォーマル化政策）に注目し、その効果を分析した。

先進国におけるリサイクルと比較した場合、新興国におけるリサイクルの最も大きな特徴の一つとして挙げられるのがインフォーマルセクターの果たす役割の大きさである。例えばアジアやラテンアメリカの国々では、最大で人口の2%ほどがインフォーマルなごみの回収で生計を立てていると言われている(Medina, 2000)。また、Wilson et al. (2006)によれば、

中国の都市部では 330～560 万人がインフォーマルな廃棄物回収・リサイクルに従事し、都市ごみの 17～38%がこれらの部門によって回収されている。さらに、公的なごみ処理サービスが存在しない地域においては、インフォーマルセクターによるごみ処理が重要な生活インフラを形成している場合も少なくない。このように、新興国では、リサイクルの重要な担い手としてインフォーマルセクターが大きな役割を果たしている。

しかし、その一方でインフォーマルセクターによるリサイクルには問題も多い。最も大きな問題となるのが不適切なリサイクルに伴う汚染の発生である。多くの場合、使用済み製品には環境に有害な物質も含まれており、リサイクルを行う際には適切な汚染防止手段を取る必要がある。しかし、法律の枠の外に存在しているインフォーマルセクターによるリサイクルの場合、汚染防止措置が取られることは稀であり、汚染を伴ったリサイクルが行われてしまう。また、インフォーマルセクターがフォーマルセクターによるリサイクルを阻害するという問題も発生する。多くの場合、インフォーマルセクターによるリサイクルは汚染防止措置を伴わないため、フォーマルセクターに比べ安い費用でリサイクルを行うことができる。この価格競争力によってインフォーマルセクターに使用済み製品が集まり、フォーマルセクターによるリサイクルが停滞するという事態が発生してしまう。これは、特に先進国の企業が新興国において静脈産業事業を行おうとする際に深刻な問題となる。先進国のリサイクル事業社が新興国に進出しても原料となる使用済み製品がインフォーマルセクターに流れてしまい、事業が継続できなくなるという事態に陥る可能性があるためである。新興国における静脈産業の発展のためには、インフォーマルセクターによるリサイクルの問題をいかにして解決するかが重要となる。

インフォーマルセクターの問題に対する最も一般的な対策としては、罰則の強化のような取り締まり政策が挙げられる。しかし、そもそもインフォーマルセクターは摘発が難しく、また、インフォーマルセクターの活動を規制することは多くの人々にとって働き口を失うことを意味するため、単純な規制の強化による対策には限界がある。その一方で、近年見られるようになっているのが、インフォーマルセクターのフォーマル化である。これは、従来インフォーマルに活動していた主体をフォーマルセクターとして認め、法律の枠内で活動させる試みであり、実際、中国などでは一部の地域でこのような動きが観察されている（細田・染野, 2014）。

そこで、本研究ではインフォーマルセクターによるリサイクルの問題に対して経済理論を用いた分析を行った。具体的には、インフォーマルセクターによるリサイクルへの対策として用いられている代表的な 2 つのタイプの政策（罰則政策、フォーマル化政策）に注目し、その効果を分析した。

(1) モデルの設定

リスク中立的な事業主体がリサイクル事業に参入するか否かを検討している状況を考える²⁶。資力(A)の異なる事業者が無数に存在し、資力 A は $[0, \bar{A}]$ の範囲で一様分布に従うとする。事業主体がリサイクルに参加した場合、便益 B を得ることができるが、リサイクル事業は確率 $p \in (0, 1)$ で D の大きさの汚染被害を社会に与える可能性がある²⁷。ただし、事業者は費用 T で汚染防止装置を導入することができ、これを稼働させた場合(稼働には c のコストがかかるとする)には汚染が発生しない。一方、汚染防止装置を導入したとしてもこれを稼働しなければ、確率 p で D の被害が発生する。分析の単純化のため、リサイクル自体にはコストがかからないものとする。

規制当局は事業者が汚染が発生させた場合、それを確率 1 で摘発し、さらに汚染防止装置導入の有無を確認することができる。一方、汚染が発生しない場合、当局は汚染防止装置導入の有無を確率 $q \in (0, 1)$ で確認することができる。ただし、汚染防止装置が導入されていた場合、事業者がそれを稼働させていたかどうかを規制当局が知ることはできないとする。

以上のような設定のもとで、本研究では、事業者が汚染防止装置を導入し、かつそれを稼働させている状況を“フォーマルセクター”としての活動、汚染防止装置を導入しない状況を“インフォーマルセクター”としての活動、そして汚染防止装置を導入はするが、それを稼働させない状況を“擬フォーマルセクター”と定義する。したがって、事業者にとってはリサイクル事業に参入する際に、フォーマルセクターとして参入するか、インフォーマルセクターとして参入するか、擬フォーマルセクターとして参入するかの 3 つの選択肢が存在することになる。この状況は図 19 のようにまとめることができる。現実の状況として、汚染を伴う事業を行う場合、汚染防止措置を適切に取っていることがフォーマルセクターとして認められる重要な要因であることが多いため、本研究では上述のような定義でフォーマルセクターの問題を扱うこととする。

²⁶ 議論の単純化のため、リサイクル事業に参入しないという選択肢は存在しないものとする。

²⁷ リサイクルの便益は事業者によって獲得された瞬間に消費されるものと仮定する。

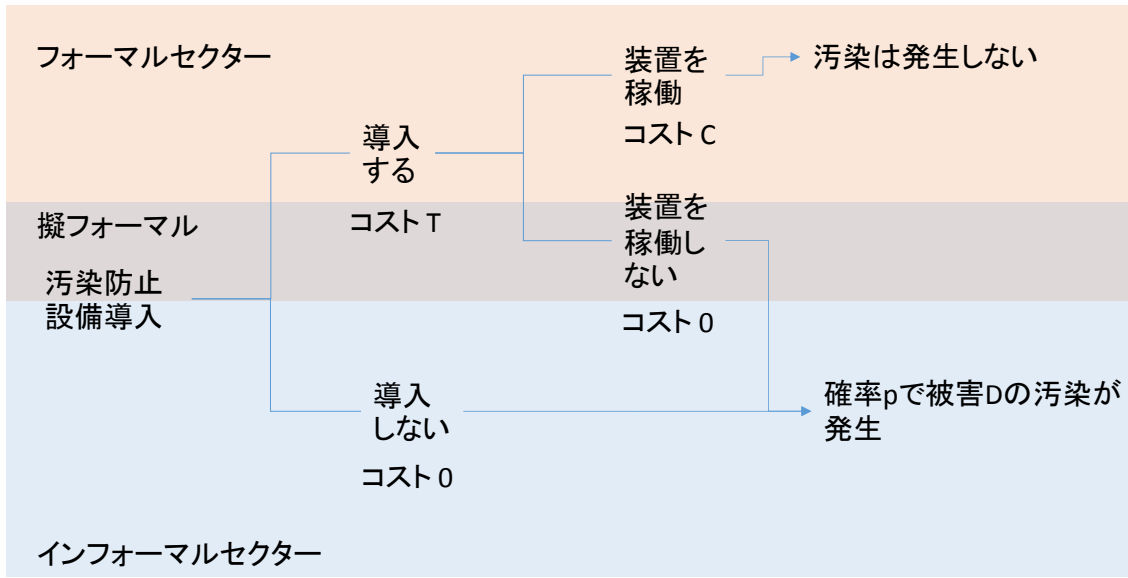


図 19 事業者の行動

なお、事業者がフォーマルセクターとして活動することが社会的にも望ましい選択となることを担保するため、汚染による被害 D が以下の式を満たすほど十分に大きいことを仮定する

$$D > \underline{D} \equiv \frac{c + T}{p}$$

(2) 罰則政策

はじめに最も一般的な政策として罰則政策の効果を考える。具体的には、フォーマルセクターを選択する事業者の数を最大する罰則政策の在り方を検討する。事業者は汚染を発生させた場合には、 L の大きさの罰則を課され、汚染防止装置を導入していないことが発覚した場合には F の大きさの罰則を課されるとする。

このとき、フォーマルセクター、擬フォーマルセクター、インフォーマルセクターを選択した場合の資力 A の事業者の期待利益はそれぞれ以下のように表すことができる。

$$\pi_g(A) = B - c - T \quad (1)$$

$$\pi_p(A) = B - p \min(A - T, L) - T \quad (2)$$

$$\pi_b(A) = B - p \min(A, L + F) - (1 - p)q \min(A, F) \quad (3)$$

ただし、 $\pi_g(A)$ は、フォーマルセクターとして活動することを選択した場合の資力 A の事業者の利益、 $\pi_p(A)$ は擬フォーマルセクターとして活動することを選択した場合の資力 A の事業者の利益、そして $\pi_b(A)$ はインフォーマルセクターとして活動することを選択した場合の資力 A の事業者の利益を表す。

フォーマルセクターを選択した場合の利益は、リサイクルによる便益 B と、汚染防止装置の導入費用 T とその稼働コスト c によって構成される。一方、擬フォーマルセクターを選択した場合、リサイクルによる便益と汚染防止装置の導入費用が利益の中に入ってくることはフォーマルセクターを選択した場合と変わらないものの、汚染防止装置の稼働コストはゼロとなり、汚染が発生した場合の期待罰則、 $p\min(A - T, L)$ が利益の中に組み込まれることになる。なお、仮に罰則の額が事業者の保有する資産よりも大きかった場合、事業者は資産全額を支払うことになることと仮定する。最後にインフォーマルセクターを選択した場合、事業者はリサイクルによる便益を得る一方で、汚染防止装置に関わる費用は一切負担しない。ただし、その代償として、汚染に対する罰則と汚染防止装置を導入していないことに対する罰則に直面することになる。具体的には、(3)式の第二項は汚染発生に対する罰則を表す。仮定より、当局は確率 p で発生する汚染を確率 1 で発見することが可能であり、その場合、汚染防止装置導入の有無も確認することができる。したがってこの場合の罰則の額は、汚染に対する罰則 L と汚染防止装置を導入していないことに対する罰則 F の合計となる。一方、汚染が発生しなかった場合でも確率 q で汚染防止装置を導入していないことが発覚しそれに対する罰則 F が課されることとなる。

以上の設定のもとで、各事業者は $\pi_g(A)$ 、 $\pi_p(A)$ 、 $\pi_b(A)$ を比較し、最も利益が大きくなるように行動する。横軸に資産 A 、縦軸に事業者の利益を取ると、 $\pi_g(A)$ 、 $\pi_p(A)$ 、 $\pi_b(A)$ に関して図 20 のようなグラフを描くことができる。

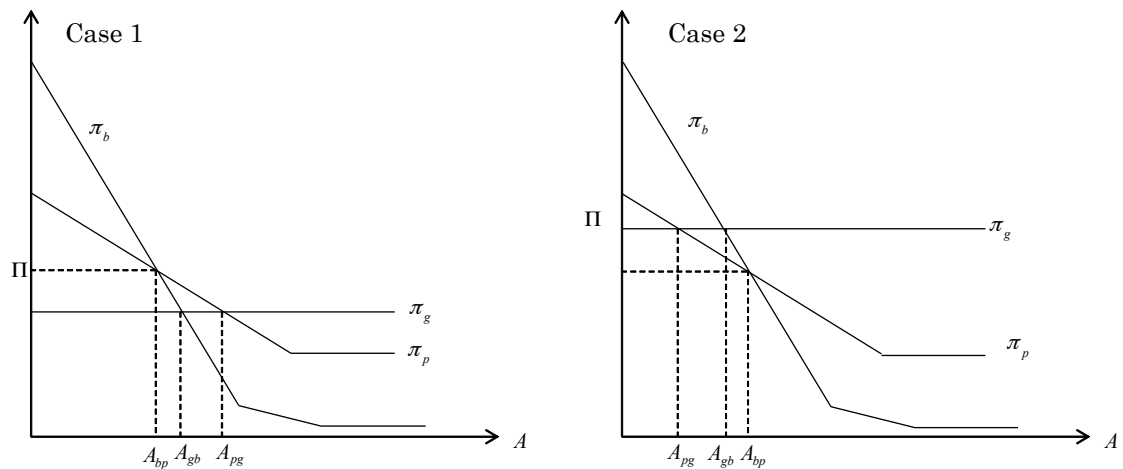


図 20 各選択肢から得られる事業者の利益

なお、上図では $\pi_b(A)$ と $\pi_p(A)$ の交点の縦軸座標を Π 、横軸座標を A_{bp} 、 $\pi_g(A)$ と $\pi_b(A)$ の交点の横軸座標を A_{gb} 、 $\pi_g(A)$ と $\pi_p(A)$ の交点の横軸座標を A_{pg} としている。このとき、パラメータの大小関係により Π が $\pi_g(A)$ よりも大きい case 1 と、その逆の case 2 に状況が分けられる。例えば、case 1 の場合、資力が A_{bp} 以下の事業者については $\pi_b(A)$ が $\pi_g(A)$ と $\pi_p(A)$ よりも上方に位置するため、インフォーマルセクターとして活動することを選択することになる。同じ理由で資力が A_{bp} から A_{gb} の範囲にある事業者は擬フォーマルセクターとして活動することを選択し、資力が A_{gb} 以上の事業者はフォーマルセクターとして活動することを選択する。このような場合分けを考慮したうえで、フォーマルセクターの数を最大にするような政策を検討した場合、以下の命題を得ることができる²⁸。

命題 1

汚染に対する罰則と、汚染防止装置を導入しないことに対する罰則をそれぞれ $L > c/p$ 、 $F > (c + T)/\{p + (1 - p)q\}$ と設定することでフォーマルセクターの数を最大にすることができる。ただし、 $T < qc/p(1 - q)$ が成立する場合、罰則をいくら上昇させても、インフォーマルセクターと擬フォーマルセクターを選択する事業者の数をそれぞれ A_{bp} と $A_{pg} - A_{bp}$ 以下にすることはできない。一方、 $T > qc/p(1 - q)$ が成立する場合、罰則をいくら上昇させてもインフォーマルセクターを選択する事業者の数を A_{gb} 以下にすることはできない。また。この場合、擬フォーマルセクターを選択する事業者は存在しない。

上の命題において $T < qc/p(1 - q)$ は図 11 において case 1 が成立するための条件、 $T > qc/p(1 - q)$ は case 2 が成立するための条件となっている。この命題からは、インフォーマルセクター対策として罰則政策の効果について次のような結論を得ることができる。すなわち、罰則政策の導入・強化は確かにインフォーマルセクターとして活動する事業者の数を減らし、フォーマルセクターを選択する事業者の数を上昇させるものの、その効果には限界があるというものである。このように、罰則政策の効果に限界が生じる要因は事業者が保有する資力の大きさにある。例えば、資力が非常に小さい事業者は、インフォーマルセクターに対する罰則が大幅に強化されたとしても、そもそも罰則を支払うだけの資力がないため、罰則の強化を恐れずに、インフォーマルな活動を続けるだろう。実際、インフォーマルなリサイクル事業者はフォーマルなリサイクル事業者に比べ、資力が小さい傾向があると考えられるため、単純な罰則政策は効果があるものの、それには限界があるということができる。

²⁸ 定理の詳しい証明は Ichinose (2014)を参照のこと。

また、case 1 の場合には擬フォーマルセクターを選択する事業者が存在することも注目に値する。これらの事業者は、インフォーマルであることから生じる期待罰則をさけるために汚染防止装置の導入はするものの、その稼働コストを惜しんでそれを支払わないような主体である。現実の世界でも、事業の許可を取り、ある意味フォーマルセクターとして活動をしているにも関わらず違法な行為を行う事業者は少なくない。擬インフォーマルセクターはこのような主体の存在を理論的に示しているものともいえる。例えば、日本の廃棄物処理業において廃棄物処理業の許可を持っているにも関わらず不適正処理・不法投棄を行う主体は少なからず存在する。一方、そもそも廃棄物処理業の許可を持たずに処理を行う主体も存在するが、これはインフォーマルセクターとして分類することができるだろう。

(3) フォーマル化政策

前節において罰則政策には一定の効果はあるものの、その効果には限界があることを見た。これに対し、本節では、罰則の強化によってはそれ以上インフォーマルセクターの数を減らせないような状況のもとで、フォーマル化政策の導入がどのような効果を持つのかについて分析を行う。そのため、既に罰則政策が導入されており、その大きさが $L > c/p$ 、 $F > (c + T)/\{p + (1 - p)q\}$ に設定されている状況を考える²⁹。

既に述べたように、本研究では汚染防止装置を導入しているか否かがフォーマルセクターとして認められるかどうかの基準となっていた。そこで、汚染防止装置の導入を補助する政策を本研究におけるフォーマル化政策として定義する。具体的には、資力不足によって汚染防止装置を購入することができないために ($A < T$ の事業者)、インフォーマルセクターとして活動している事業者に対し、当局が汚染防止装置導入費用のうち $1 - a$ の割合を補助する政策を考える。ただし、 a は $a \in (0, 1)$ を満たすパラメータである。補助を受ける場合、事業者は自らの資力が T 以下であることを当局に申告するが、資力に関する虚偽の申告はできないものとする。この政策により、事業者の直面する汚染防止装置の価格は aT となるが、資力が aT の事業者はフォーマル化政策が導入されたもとでも、汚染防止装置を購入することができないため、自動的にインフォーマルセクターとして活動することを選択することになる。以下では、フォーマル化政策の効果に注目するため、この政策の導入によって影響を受ける主体（資力が $A \in [aT, T]$ の主体）の行動に注目して分析を行う。

このようなフォーマル化政策が導入されたもとでの事業者の利益は以下のように表すことができる。

²⁹ 定理 1 参照。

$$\pi_g^a(A) = B - c - aT \quad (4)$$

$$\pi_p^a(A) = B - p\min(A - aT, L) - aT \quad (5)$$

$$\pi_b^a(A) = B - p\min(A, L + F) - (1 - p)q\min(A, F) \quad (6)$$

ただし、 $\pi_g^a(A)$ 、 $\pi_p^a(A)$ 、 $\pi_b^a(A)$ はフォーマル化政策のもとで事業者がそれぞれフォーマルセクター、擬フォーマルセクター、インフォーマルセクターとして活動した際に得られる利益を表している。罰則政策の場合と同様、各事業者は、 $\pi_g^a(A)$ 、 $\pi_p^a(A)$ 、 $\pi_b^a(A)$ の大きさを比較し、最も利益が大きくなるような選択をすることになる。罰則政策の場合と同様に、横軸に事業者の資力、縦軸に利益を取ると、図 21 のようなグラフを描くことができる。

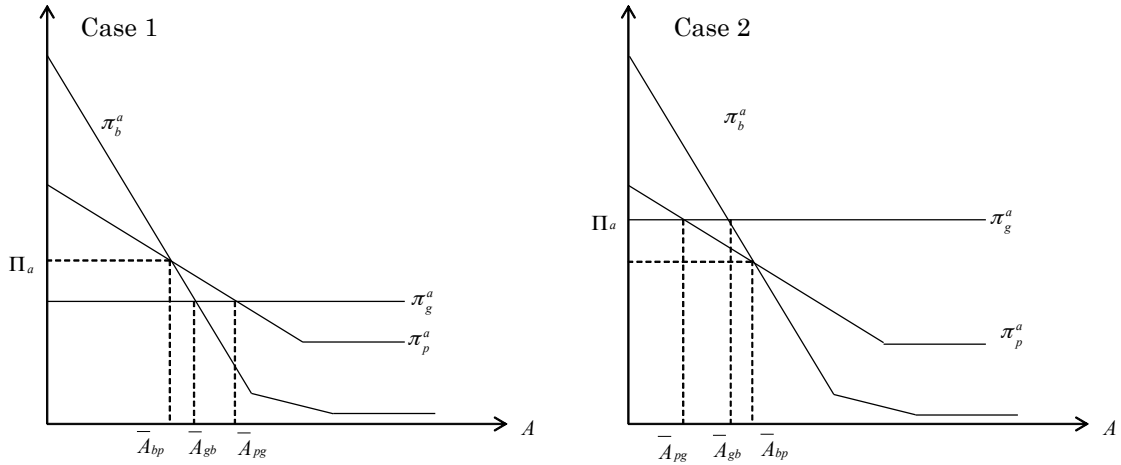
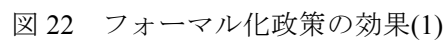


図 21 フォーマル化政策のもとでの事業者の便益

なお、上図では $\pi_b^a(A)$ と $\pi_p^a(A)$ の交点の縦軸座標を Π_a 、横軸座標を $\bar{A}_{bp}$ 、 $\pi_g^a(A)$ と $\pi_b^a(A)$ の交点の横軸座標を $\bar{A}_{gb}$ 、 $\pi_g^a(A)$ と $\pi_p^a(A)$ の交点の横軸座標を $\bar{A}_{pg}$ としている。このとき、パラメータの大小関係により Π_a が $\pi_g^a(A)$ よりも大きい case 1 と、その逆の case 2 に状況が分けられる。例えば、case 1 の場合、資力が $\bar{A}_{bp}$ 以下の事業者については $\pi_b^a(A)$ が $\pi_g^a(A)$ と $\pi_p^a(A)$ よりも上方に位置するため、インフォーマルセクターとして活動することを選択する。同じ理由で資力が $\bar{A}_{bp}$ から $\bar{A}_{gb}$ の範囲にある事業者は擬フォーマルセクターとして活動することを選択し、資力が $\bar{A}_{gb}$ 以上の事業者はフォーマルセクターとして活動することを選択する。

既に述べたように本節では、資力が $A \in [aT, T]$ の範囲に入る事業者の行動に注目するため、 aT と T が図 22 の横軸上のどこに位置するかが分析上重要となる。例えば、図 4 に示すように、case 1 において $aT < \bar{A}_{bp} < T < \bar{A}_{pg}$ が成立する場合、資力が $A \in [aT, \bar{A}_{bp})$ の事業者はインフォーマルセクターとして活動することを選択し、 $A \in [\bar{A}_{bp}, T]$ の事業者は擬フォーマルセクターとして活動することを選択する。このとき、フォーマル化政策の導入による余剰

$$-(1-\alpha)T(T-\bar{A}_{bp})$$


74

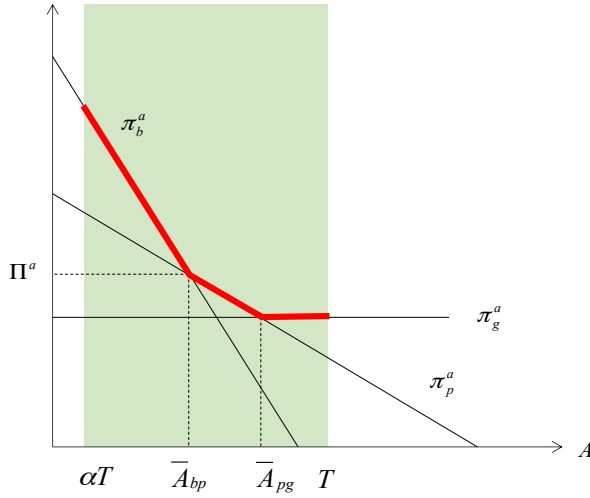


図 23 フォーマル化政策の効果(2)

この際、フォーマル化政策の導入は、汚染防止装置購入のための補助という費用が発生する一方で、事業者をフォーマルセクターに誘導し、汚染の発生を防ぐという便益を生み出す。具体的には政策導入の余剰は以下のように定義することができる。

$$p(D - c)(T - \bar{A}_{cu}) - (1 - \alpha)T(T - \bar{A}_{iu})$$

以上のようにフォーマル化政策の効果を検討する際には、 αT 、 $\bar{A}_{bp}$ 、 T 、 $\bar{A}_{pg}$ の4つの変数の大小関係が重要となる。これらの変数の大小関係について考え得る可能性を全て考慮すると、フォーマル化政策の効果について以下の命題を導くことができる³⁰。

命題 2³¹

$T < c/p$ が成立する場合、フォーマル化政策を導入したとしても、事業者にはフォーマルセクターとして活動することを選択させることはできない。一方、 $T \in (c/p, c/(p(1 - q)))$ が成立する場合、フォーマル化政策の導入は事業者の一部をフォーマルセクターに誘導することができるが、政策の導入によって余剰が減少する場合がある。最後に、 $T > c/(p(1 - q))$ が成立する場合、フォーマル化政策の導入は事業者の一部をフォーマルセクターに誘導することができ、かつ政策の導入は余剰を必ず上昇させる。

³⁰ 定理の証明については、Ichinose (2014)を参照のこと。

³¹ 本定理において「事業者」とは本節で分析の対象としている「資力が $A < T$ の事業者」を指す。

上の命題は、フォーマル化政策の導入は常に余剰を改善するわけではなく、その効果はフォーマルセクターとして活動するためのコスト(T)に依存していることを示している。すなわち、 T の値が相対的に小さい場合、フォーマル化政策は効果を発揮せず、この値が相対的に大きい場合には政策の導入が余剰を改善するのである。このような結論が得られる直感的な理由は以下の通りである。まず前提として、リサイクルを行う際に汚染防止装置を導入し、かつそれを稼働させる事業者は、資力の比較的高い事業者に限られる。なぜなら、資力の高い事業者は罰則を課された場合に失うものが大きく、法令を順守する傾向が強いためである。一方、資力が低い事業者は、違法行為で摘発されたとしても失うものが相対的に少ないため、違法な行為を行う傾向が強い。このような状況のもとで、 T の値が相対的に小さい場合には、法令を順守するような比較的資力の高い事業者はフォーマル化政策を導入しなくても、既にフォーマルセクターとして活動しているため、あえてさらにフォーマル化政策を導入することの意味がないのである。

(4) まとめと考察

本研究では、インフォーマルセクターによるリサイクルの問題に対する政策として、罰則とフォーマル化政策の2つを取り上げ、その効果について経済学的に分析を行った。主要な結論は以下の2点に集約することができる。

- ① 罰則政策の導入はインフォーマルセクター問題に対し一定の効果があるものの、その効果には限界がある。
- ② フォーマル化政策は常に社会的な厚生を改善するわけではない。

本研究で取り上げた、罰則及びフォーマル化政策はハードロー的な対策と位置付けることができるが、上に挙げた2つの結果から、静脈産業に内包されている問題に対処する際、ハードローによる対策は一定の効果を持つが、その制度設計には状況に合わせた工夫が必要であるという考察を導くことができる。本研究からは、一見、非常に有効な政策に見えるフォーマル化政策も常に社会的な厚生を上昇させるわけではなく、場合によっては厚生を悪化させる場合もあることという帰結が得られた。ハードローを設計する際には、一律の基準を全てのケースに当てはめるのではなく、状況に応じた対応が可能なような制度の設計が必要となる。また、上記の結果は、インフォーマルセクター対策として、ソフトローの活用も重要であることも示唆している。ハードローは適正処理・リサイクルを促進する面で大きな役割を果たすことは言うまでもないが、限界もあるのである。罰則やフォーマル化政策といったハードローを用いても問題を解決できないような場合には、ソフトローを活用することが必要となってくるだろう。今回の研究では、ソフトローの果たす役割を

分析することはできておらず、これは今後の研究課題である。

(参考文献)

D Ichinose (2014), Optimal policy for the informal sector in potentially hazardous industries: Penalty and Formalization, mimeo.

M Medina (2000), Scavenger cooperatives in Asia and Latin America, Resources, Conservation and Recycling, Vol.31, pp.51-69.

DC Wilson, C Velis, C Cheeseman, Role of informal sector recycling in waste management in developing countries, Habitat international, Vol.30, pp.797-808.

細田衛士・染野憲治 「中国静脈ビジネスの新しい展開」『経済学研究』, 63, pp.13-27.

3.2.2.2 制度実証的分析

前節の理論的分析に対し、本節ではハードローとソフトローの役割及びこの2つの関係性について制度実証的視点から中国とタイを比較検討してみる。

(1) 中国：ハードロー先行型

中国では、前節の理論的考察から示唆されるとおり、資本形成の進んだりサイクル業者を中心としてフォーマル化が進んできている状況が観察される。特に、中国のリサイクルについて特徴的な点として、3.1.1 や 3.1.3 で述べたとおり、環境や健康に配慮した適正なりサイクルに関するガバナンスやソフトローについては未成熟なまま、自動車廃棄物や電子廃棄物などの静脈資源については、日本やEUにも見劣りしないハードローの整備が進められてきている点を指摘できる。その中で、中央政府がハードローの整備により、資本形成の進んだりサイクル業者を中心に静脈産業をフォーマル化し、環境産業として中国経済牽引の役割を担わせようとしている（細田・染野 2014）。いわば、ハードロー先行型のリサイクル適正化が進みつつある状況である。

たとえば、中国版家電リサイクル法「廃旧電器電子製品回収処理管理条例」では、テレビ、冷蔵庫、洗濯機、エアコン、パソコンの5品目について、適正な廃棄物処理とリサイクルを行う能力を有する優良企業のみを補助金支給対象の資源リサイクル業者として指定している。この指定企業制度では、かかる指定企業の施設やリサイクル状況を環境部局が常に監察することによって、インフォーマルな資源リサイクル業者を排除しようという政策意図が伺える。また、青島新天地静脈産業園区や天津子牙循環経済産業園区などの工業園区設置により、廃家電、廃自動車、廃携帯、廃鉛電池、廃プラスチックなどの静脈資源リサイクルを集約化して、規模の経済によって先進技術の開発や環境保全を推進する政策

も行われている。

本研究における調査によれば、こうした政策によって中国では、実際にインフォーマルセクターのフォーマル化が一部で進んできている様子が観察された。たとえば、河北省唐山市玉田県では、優良リサイクル業者として各種指定を受けている大手企業（中国再生資源開発公司）を中心に、インフォーマルセクターをフォーマルな資源リサイクルのレジームに取り込む動きがある。すなわち、同社の工場が、従来から現地で廃プラスチックなどの不法・不適切な回収・リサイクルを行ってきた農民工などと契約して、彼らには資源回収に専念してもらい、集まった資源のリサイクルは環境対策が整った同社の工場で行うような仕組みを作り出しているのである。さらに、同工場の管理者によれば、インフォーマルなリサイクルに従事する地元の農民らを同社の社員として雇うことも考え、そのための研修会を開催している由であった。

また、電気電子廃棄物のインフォーマルなリサイクルを行う町として有名となった広東省汕頭市貴嶼鎮でも、近年、フォーマル化の動きが見られる。中国政府は、2005年に同鎮を循環経済モデル地域に指定し、地域内では工業区画が整備され、インフォーマルセクターを同区画へ移転させる試みが始まっている。こうしたなか、リサイクル業者の方にも変化が見られ、規制から逃れる意図からか、路上や庭先（開放型）でのリサイクルはほとんど見られなくなり、リサイクル作業を行う場は建物内（閉鎖型）に移動してきている。プリント板熱処理による有毒ガスの排気も、開放型の場で換気扇を回していた状況から、閉鎖型で煙突を設置するような形に改まってきている。また、建屋の多くがコンクリートで床打ちされ、環境への配慮が増している。

しかし一方で、こうしたフォーマル化の動きは進行過程にあり、いまだ多くのインフォーマル業者を排除しきれていないのも事実である。たとえば、前述の「廃旧電器電子産品回収処理管理条例」に基づく家電リサイクルの補助金制度についても、補助金を受け取らず質の低いリサイクルを行うインフォーマルな企業も引き続き存在している。環境配慮を欠いた低コストのリサイクルによって、補助金を見込んだフォーマルなリサイクルよりも費用面で有利な状況が存在するためと考えられる。また、フォーマル化が進む貴嶼鎮でも、町はずれなどでは現在もインフォーマルな業者が残っている。

前節の理論的考察の示唆から考えれば、こうした中国におけるフォーマルセクターとインフォーマルセクターの混在は、リサイクル業者の資本形成がいまだ十分にこなされていない過渡期的な状況であると考えられる。フォーマルセクターの優良リサイクル業者の資本形成が一層進むなかで、インフォーマルセクターは減少していくものと期待される。政策的には、優良リサイクル業者の資本形成を助け、インフォーマルセクターのフォーマル化を促すような施策が必要となろう。

(2) タイ：ソフトロー先行型

前節の理論的考察から得られるもう一つの示唆として、インフォーマルなリサイクル慣行が是正されフォーマル化していくためには、ハードローの整備やガバナンスの強化だけでは足りず、環境破壊や健康被害に対する倫理観や市民意識の醸成もまた重要な鍵を握ることが明らかになった。

この点、タイでは、廃棄物管理・リサイクルに関するハードローは未整備であるものの、近年は、都市化や工業化に伴い、水質汚染や大気汚染、廃棄物汚染など様々な環境問題が噴出するなか、市民の環境健康意識の高まりによって、タイにおける廃棄物処理の状況も徐々にフォーマル化しつつある。いわばソフトロー先行型のフォーマル化である。

3.1.2 で述べたとおり、地方自治体レベルでは、担当者や学校での教育活動が頻繁に行われるようになっているほか、民間リサイクル業者の中にも、自治体と協力して、地域住民に対する環境教育や啓蒙活動に積極的に取り組む企業が存在する。また、一部の有害廃棄物（蛍光灯、携帯電話、廃バッテリーなど）では、自主的な引き取り協力が進みつつある。こうした状況において、政府も、3R 政策の強化を図りつつあり、地域社会レベルでの 3R 推進パイロットプロジェクト、地方政府職員や地域社会の人々を対象とする訓練プログラム、3R 推進ガイドラインの作成、使用済み携帯電話回収プログラムなどの推進を始めている。

現在タイ政府は、①Basic Recycling Law, ②Solid Waste Management Law, ③WEEE Management Law という 3 つのリサイクル関連法制定を準備しているところであり、今後こうしたハードローの整備とガバナンスの強化が進む中で、資本形成の進んだ優良業者を中心にリサイクルのフォーマル化が本格的に進むことが期待される。その際には、政府の介入なくして既に一部で進みつつあるフォーマル化の動きを阻害することなく、ハードロー、ガバナンス、ソフトローの調和が取れたレジームの形成を目指す必要があるだろう。

(参考文献)

梅山研一 編 (2011)、『タイ環境法体系ガイド』、EnviX。

環境省、『環境白書』、各年度版。

高偉俊・高永志 (2011) 「中国都市部における家電廃棄物リサイクルの現状および排出量の予測に関する研究」、『東アジアへの視点』、2011 年 9 月号、pp.12-22。

佐々木創 (2008)、「タイにおける産業廃棄物処理とリサイクルの現状」、小島道一編『アジアにおけるリサイクル』、第 5 章、pp.193-224、アジア経済研究所。

内閣府 (2012)、『環境問題に関する世論調査』 <http://www8.cao.go.jp/survey/h24/>

h24-kankyuu/index.html より DL (2014 年 8 月 28 日)。

細田衛士 (2014)、「国際資源循環の課題と展望—東アジア圏域を中心に—」、『安全工学』、Vol.53、No.1、pp.27-34。

細田衛士・染野憲治 (2014)、「中国静脈ビジネスの新しい展開」、『経済学研究 (北海道大学)』、第 63 巻、第 2 号、pp.13-27。

杜欽政 et al. (2011)、「中国の電気電子廃棄物リサイクル処理の現状及び関係法律法規政策」、『環境技術会誌』、第 143 号、pp.109-113。

Ong, L. H. (2012). “The apparent paradox in China’s climate policies: Weak international commitment on emissions reduction and aggressive renewable energy policy.” *Asian Survey*, 52(6), 1138-1160.

SANG-ARUN, Janya et al (2013), *Promoting recycling in municipal solid waste management through suitable business models: Improving the supply chain for recyclables*, Commissioned Report, Institute for Global Environmental Strategies.

Sekiyama, Takashi (2015). “Proposal for an International Optimal Resource Circulation Regime from a Comparative Study of the Recycling Policies of Japan, China, and Thailand.” Presented at 11th International Conference, Western Economic Association International (WEAI), Wellington, New Zealand, January 10, 2015.

----- (2013) “A Paradox in China’s Environmental Management: An argument from a comparative study on waste recycling policies between China and Japan,” *Chinese Business Review*, Vol. 12, No.6, PP. 425-434.

3.2.3 廃棄物の回収とリサイクルプラントの立地

3.2.3.1 理論的分析

廃棄物処理・リサイクルを円滑に進めていくためには、使用済み製品をどのように大量に集めていくかについて考える必要がある。また収集されたものを、透明性の高い形で、いかに適正に処理・リサイクルしていくかも重要である。たとえば中国などでは、インフォーマルなリサイクル業者による不適正処理・不法投棄によって人々の健康への影響や周辺環境の汚染などの問題が生じている³²。適正な処理・リサイクルを確保するための収集システムをいかに構築していくかを考えていくことは、こうした国々における重要な課題の 1 つである。

このような問題に対して、これまで実態調査等にもとづいた研究はおこなわれてきたも

³² こうした状況については、たとえば小島編 (2005)や Chi et al. (2011)などを参照されたい。

の、経済理論的な観点からの考察はあまりおこなわれていない。廃棄物の適正な処理及びリサイクルの確保という点でいえば、収集と処理の両方についての考察が必要であるが、そうした側面に着目した理論研究はあまりない³³。

ここでの分析の目的は、廃棄物の収集と適正なリサイクルについて、経済理論的な観点から考察をおこなうことである。そのアプローチとして、本分析では Highfill *et al.* (1994) のモデルを参考にして、分析をおこなっている。同文献は、家計部門から排出される廃棄物の収集及びリサイクルを考慮したモデルをもちいて、リサイクルプラントの立地について考察をおこなったものである。

Highfill *et al.* (1994) では、収集にかかる費用に重点をおいて、リサイクルプラントの最適な立地について論じているが、本分析では、いくつか新たな要素を追加して、分析をおこなっている。1 つはリサイクル業者による利潤最大化行動である。既存文献では、収集及び処理をおこなう主体が公共部門的な位置づけになっており、リサイクル品の売却を考慮していない。本稿のモデルでは、リサイクル品の売却にともなう収入を考慮し、利潤最大化行動のもとでの最適条件の導出を試みる。

もう 1 つの新たな要素として、リサイクル過程における汚染の発生も考慮している。新興国では、使用済み品の資源価値ばかりに着目した安易なリサイクルがおこなわれており、そうした行動を考慮した分析は、そうした国々の政策を考えるうえでの重要な示唆を期待できる。リサイクル過程で発生する汚染を考慮すると、利潤最大化条件は社会的に最適な状態を実現しない。これを是正するための政策手段についても整理をおこなう。

なお、本稿の構成は以下のとおりである。まず第 1 節において、モデルの構造について説明する。ここではリサイクル業者の利潤最大化行動を描き、最適なプラントの立地についても導出する。第 2 節では、リサイクル過程における汚染を考慮し、最適な汚染制御策について考察する。そして第 3 節において、考察結果を整理し、ここでの分析結果のまとめをおこなう。

(1) モデル

本稿で参考になっている Highfill *et al.* (1994) のモデルは、家計部門から排出された廃棄物の収集とそれを処理した際の残渣を最終処分場に運搬することを考慮して、最適な処理施設の立地について考察したものである。本稿のモデルは、同文献にいくつかの要素を追加し

³³ たとえば廃棄物・リサイクルに関する経済理論的な観点からの文献として、Fullerton and Kinnaman (1995) や Fullerton and Wu (1998), Choe and Fraser (1999), Eichner and Pethig (2001) などのように一般均衡的なアプローチにもとづいたものがあるが、これらの既存文献では、廃棄物の収集システムについては考慮されていない。

ている。その 1 つとして、中間処理をおこなったあとのリサイクル可能物の販売を考慮している。また別の要素として、リサイクル過程における汚染の発生とそのもとでの最適政策である。具体的な考察結果について述べる前に、まずモデルの基本構造についてみていくことにしよう。

本モデルでは、家計部門とリサイクル業者から成る経済を想定している。図 24 のような $a \times b$ の長方形の地域を考え、この地域内に家計部門が一様分布しており、各家計から廃棄物 w が発生するとしよう。リサイクル業者は、各家庭から排出された廃棄物を収集し、その一部ないし全部をリサイクルし、市場で売却する。いまリサイクル品の市場が、地域の隅（図 24 の原点 O ）に配置されているとしよう。また廃棄物ないしリサイクル品の輸送は、東西方向及び南北方向のみ可能であるとする³⁴。このときの運搬距離は $x + y$ であらわすことができる。こうした想定のもとで、地域内のどこか (x_p, y_p) にリサイクルプラントを建設することについて考えていく。

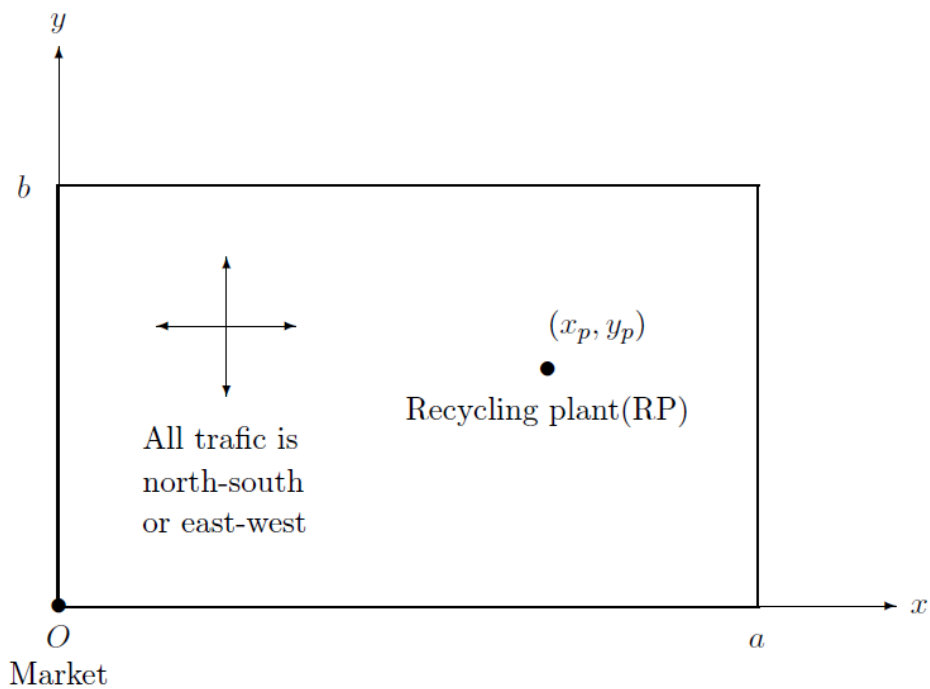


図 24 本モデルのイメージ

³⁴ この想定は Highfill *et al.* (1994) のモデルと同じものである。

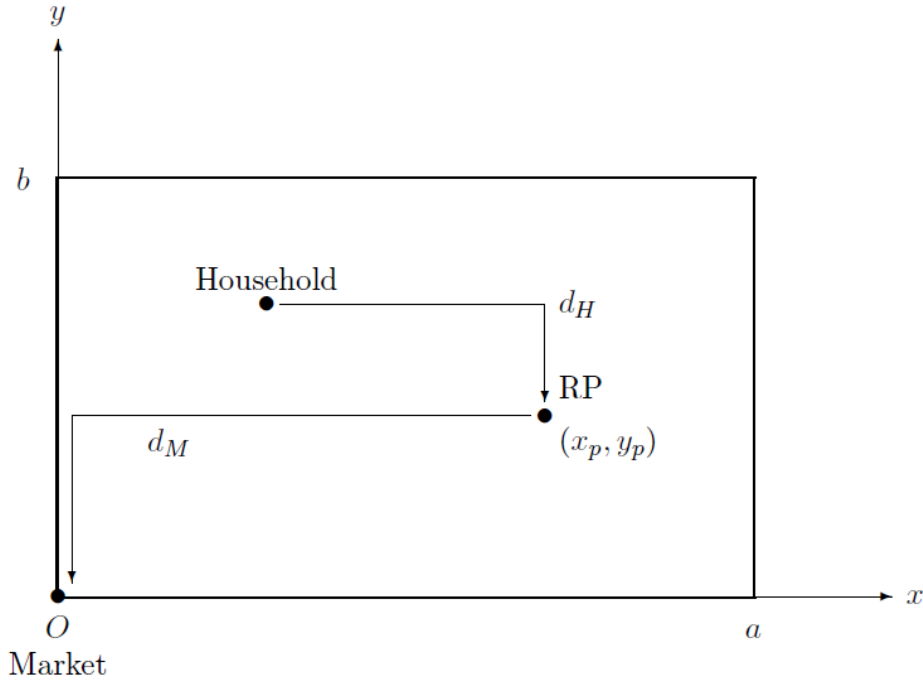


図 25 各家計からの廃棄物及びリサイクル品の輸送

リサイクル業者の利潤最大化行動を考えるために、まず費用の観点から整理していくことにしよう。リサイクル業者の行動に関連する費用には、輸送費用のほか、処理・リサイクルの費用、処理残渣の最終処分費用などがある。このうち輸送費用に関しては、2つのタイプに分けることができる。1つは家計部門からリサイクルプラントまでの廃棄物の輸送であり、もう1つはリサイクルプラントから市場へのリサイクル品の輸送である。いま各家計からリサイクルプラントまでの平均輸送距離を d_H とすると、つぎのようにあらわすことができる（図 25）。

$$\begin{aligned}
 d_H &= \frac{1}{ab} \int_0^a \int_0^b |x - x_p| + |y - y_p| dy dx \\
 &= \frac{x_p^2}{a} + \frac{y_p^2}{b} + \frac{a+b}{2} - (x_p + y_p)
 \end{aligned}$$

またリサイクルプラントから市場までの輸送距離 d_M はつぎのようになる。

$$d_M = |x_p - 0| + |y_p - 0| = x_p + y_p$$

家計あたりの平均的な輸送費用 c_T は、家計からリサイクルプラント、及びリサイクルプラントから市場までのそれぞれの距離に、輸送品（廃棄物またはリサイクル品）の重量と輸送費用の単価を掛け合わせたものであらわされる³⁵。

$$\begin{aligned} c_T &= d_H \phi w + d_M \phi r \\ &= \phi w \left[\frac{x_p^2}{a} + \frac{y_p^2}{b} + \frac{a+b}{2} - (1-\theta)(x_p + y_p) \right] \end{aligned}$$

ここで ϕ は輸送費用単価（距離・重量あたりの輸送費用）であり、 w は家計あたりの廃棄物重量をあらわしている。廃棄物のうちの一部がリサイクルされるとして、その割合を θ であらわし、リサイクル量を r とする（ $r = \theta w$ ）。

輸送以外の費用は 1 つにまとめ、これを $c_R \equiv c_R(r)$ とおくことにしよう（ $c_R'(r) > 0$ 及び $c_R''(r) > 0$ ）³⁶。これらは処理・リサイクルに関する費用であり、本稿ではこれを「リサイクル費用」とよぶことにしよう。廃棄物重量あたりの総費用 TC は、輸送費用 c_T とリサイクル費用 c_R の和であらわされる（ $TC = c_T + c_R$ ）。

リサイクル品 r の価格を p とすると、廃棄物量あたりの利潤は $\pi \equiv pr - TC$ であらわされる。リサイクル業者は、所与の廃棄物量 w のもとで、利潤を最大にするように立地 (x_p, y_p) 及びリサイクル率 θ を選択する。リサイクル率に関する制約条件 $0 \leq \theta \leq 1$ を考慮すると、利潤最大化条件は以下のようにあらわすことができる。

(a) 内点解： $0 < \theta < 1$

$$p = \phi(x_p + y_p) + c_R'(r) \quad (x_p, y_p) = \left(\frac{a(1-\theta)}{2}, \frac{b(1-\theta)}{2} \right)$$

(b) 端点解（ゼロリサイクル）： $\theta = 0$

$$p < \phi(x_p + y_p) + c_R'(r) \quad (x_p, y_p) = \left(\frac{a}{2}, \frac{b}{2} \right)$$

³⁵ ここで導出しているのは、家計あたりの平均的な輸送費用であり、総輸送費用を求めるには地域の面積 ab を掛け合わせる必要がある。ただし、どちらで考えても、あとの分析結果には大きな影響をおよぼさない。

³⁶ Highfill *et al.* (1994)では線形の関数を想定しており、本稿のモデルとの関連でいえば、 $c_R(r) = gw + sr$ であらわされる。

(c) 端点解（100%リサイクル）： $\theta = 1$

$$p > \phi(x_p + y_p) + c_R'(r) \quad (x_p, y_p) = (0, 0)$$

以上の結果について、(a) 内点解のケースからみていくことにしよう。リサイクル業者の利潤が最大となるのは、リサイクル品の限界収入が輸送及びリサイクルの限界費用の和に等しくなるときである。またこのときのリサイクルプラントの最適な立地は、地域 $a \times b$ の原点、つまりリサイクル品の市場と地域の中心部を結ぶ線上となる。最適な立地はリサイクル率 θ の影響を受け、リサイクル率が高いほど市場に近くなり、反対にリサイクル率が低いほど、地域の中心部に近くなる。

(b) 及び (c) の端点解のケースについても、同様に考えることができる。(b) のように、輸送費用あるいはリサイクル費用が十分に大きい、あるいはリサイクル品の価格が十分に小さい状況のもとでは、リサイクルがおこなわれず、家計から出された廃棄物のすべてが最終処分される。また家計からの収集を考慮し、地域 $a \times b$ の中心にリサイクルプラントが立地される。一方、(c) のように、リサイクル品の価格が十分に高い、あるいは輸送費用ないしリサイクル費用が十分に小さいときは、全てがリサイクルされ、リサイクルプラントは原点つまり市場と同じところに立地される。

(2) リサイクルにともなう汚染と最適政策

つぎにリサイクル過程における汚染の発生を考慮し、そのもとでの最適政策について考えていく。リサイクルにともなう汚染による被害は、つぎの 2 つの変数の影響を受けると考えることができる。1 つがリサイクル活動の水準である。ここではリサイクル量 r に依存するものとし、リサイクル量が多くなるほど被害も大きくなるものとしよう。もう 1 つの要素は、住民たちへの影響である。リサイクルプラントをどこに立地するかによって、生じる被害の大きさも異なってくる。ここではリサイクルプラントの各家計からの平均距離 d_H の大きさによって被害の大きさが変化するものとし、平均距離が大きく（小さく）なるほど、被害も小さく（大きく）なると考える。以上のことを考慮するとき、汚染による被害費用 $D(r, d_H)$ はつぎの性質を備えたものとしてあらわすことができる。

$$D_r \equiv \frac{\partial D}{\partial r} > 0, \quad D_{rr} \equiv \frac{\partial^2 D}{\partial r^2} > 0, \quad D_d \equiv \frac{\partial D}{\partial d_H} < 0, \quad \text{and} \quad D_{dd} \equiv \frac{\partial^2 D}{\partial d_H^2} < 0$$

いま、汚染を考慮した場合の最適条件を導出すると、以下のようにあらわすことができ

る³⁷。

$$p = \phi(x_p + y_p) + c_R' + D_r$$

$$x_p = \frac{a}{2} \left(1 - \frac{w\phi\theta}{w\phi + D_d} \right)$$

$$y_p = \frac{b}{2} \left(1 - \frac{w\phi\theta}{w\phi + D_d} \right)$$

この 3 つの条件のうち、最初のものは、リサイクル品の限界収入が、輸送とリサイクルの限界費用と限界被害費用の和に等しくなることを意味している。また 2 つ目及び 3 つ目の条件は、立地に関するものであるが、汚染の被害があることによって、最適な立地は地域の中心よりも離れ、リサイクル品の市場に近いところになることを示している。リサイクルプラントからの平均距離に関する汚染の限界被害 D_d が十分に大きい場合には、原点、つまり地域の隅にリサイクルプラントを立地することが最適となる。

こうした 3 つの条件は、リサイクル企業の利潤最大化のもとでは実現することができない。そのための方法について考えてみることにしよう。最適な水準を実現するための方法はさまざまなものがある。ここではその 1 つとして、課税による最適制御について考えてみよう。いまリサイクル業者に対して、(1) リサイクル品の売却に対する課税 t_p 、(2) 各家庭からの廃棄物のリサイクルプラントまでの輸送に対する課税 t_H 、(3) リサイクル品の市場への輸送に対する課税 t_M 、そして(4) リサイクル活動に対する課税 t_r の 4 つのタイプを考える。このもとでリサイクル業者の利潤関数は次のように書き換えられる。

$$\Pi \equiv (p - t_p)r - [d_H(\phi + t_H)w + d_M(\phi + t_M)r + (t_r r + c_R(r))]$$

この利潤最大化条件を整理し、先の最適条件と比較をすると、以下の条件が成り立つとき、最適条件が満たされることがわかる。

$$t_p + t_r = D_r, \quad t_H = \frac{D_d}{w}, \quad \text{and} \quad t_M = 0$$

つまり、リサイクル品の売却あるいはリサイクル活動に対して、リサイクル活動にともなう限界被害費用に等しい税率の課税をおこない、また家計からリサイクルプラントへの

³⁷ ここでは内点解のみを考慮する。

輸送に対しては、リサイクルプラントからの平均距離に関する限界被害費用の大きさを考慮した課税をする必要がある。なお、リサイクルプラントから市場までの輸送に関して、課税をおこなう必要はなく、むしろ各家計からの収集についての対策が必要となる。これは廃棄物の収集に関する対策をつうじて、リサイクルプラントを最適な場所に立地させる必要があることによるものである。もしこの対策が難しい場合には、最適な条件を満たすことができなくなる。

(3) 分析のまとめ

本分析では、家計部門から排出される廃棄物の収集とそのリサイクルを考慮したモデルをもちいて、リサイクルプラントの立地について分析をおこなってきた。プラントの最適な立地は、リサイクル率に応じて変化する。リサイクル率が低い場合は、地域の中心に近いところにプラントを建設し、反対にリサイクル率が高い場合には、市場に近いところにプラントを建設する。

また本分析では、リサイクルにともなう汚染の制御についても考察をおこなった。汚染の発生を考慮する場合、最適な立地は、地域の中心部から離れることになる。汚染にともなう限界被害の大きさによっては、地域の隅っこに立地する必要がある。また汚染を考慮する場合の最適条件を満たすための政策については、リサイクル品の売り上げやリサイクル活動に対する課税のほか、各家計からの廃棄物の収集に対しても課税をおこなう必要があることも明らかとなった。リサイクル活動がプラントの周辺住民に被害をもたらしている場合、廃棄物の収集に関する対策をつうじて、プラントの立地を変化させることで、最適な状態を実現することができる。

本分析のモデルでは、最適な立地を実現するための方法として、課税政策をとりあげたが、リサイクルプラントの立地そのものに介入することも可能である。たとえば、中国浙江省の台州市では、かつてインフォーマルセクターによるリサイクルの被害が生じていたが³⁸、そうしたインフォーマルセクターを新たに建設した工業団地に強制移動させるという対応がとられている。

また中国の産業園區の立地についてみると、天津市子牙の循環産業区では、天津市の中心部から 50km、北京市からも百数十 km のところに位置しており、また天津港へも 100km ほどの距離にある。使用済み製品等の集積やリサイクル品の輸送を考える場合、こうした立地は優位に働くと考えられる。一方、河北省曹妃甸の産業園區は、海の近い広大

³⁸ 浙江省台州市におけるインフォーマルセクターのリサイクルにともなう汚染は、広東省貴嶼などと並んで、Chi *et al.* (2011) などの文献で紹介されている。

な土地で開発を進めてきたが、関連する産業は鉄鋼等、一部のみとなっており、園区の整備も進んでいない。遼寧省の大連循環産業経済区は、大連市の中心部から 150km の距離にあり、先に挙げた 2 つの地区と同じように海の近くに立地されている。この園区には、関連する動脈産業・静脈産業もあり、リサイクルための原料確保を円滑にすることを意図したものとみることができる。

本分析では、ある単体のリサイクルプラントの行動について考慮してきたが、現実の経済の状況を考える場合には、複数のリサイクル業者から成る経済のもとでの状況を考察することも重要である。とくにインフォーマルなリサイクル業者とフォーマルな業者が併存する状況について分析をおこなうことは、多くの有益な示唆を得ることができるだろう。この点については、今後の研究課題としたい。

(参考文献)

- 小島道一 編 (2005) 『アジアにおける循環資源貿易』, アジア経済研究所.
- 細田衛士 (2008) 『資源循環型社会』, 慶應義塾出版会.
- 細田衛士 (2012) 『グッツとバズズの経済学』, 第 2 版, 東洋経済新報社.
- Chi, Xinwen, Martin Streicher-Porte, Mark Y.L. Wang, and Markus A. Reuter (2011) “Informal electronic waste recycling: A sector review with special focus on China,” *Waste Management*, Vol.31, pp.731-742.
- Choe, Chongwoo and Iain Fraser (1999) “An economic analysis of household waste management,” *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol.38, No.2, pp.234-246.
- Chung, Shan-Shan and Chan Zhang (2011) “An evaluation of legislative measures on electrical and electronic waste in the People's Republic of China,” *Waste Management*, Vol.31, pp.2638-2646.
- Eichner, Thomas and Rüdiger Pethig (2001) “Product design and efficient management of recycling and waste treatment,” *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol.41, No.1, pp.109-134.
- Ferrara, Ida (2003) “Differential provision of solid waste collection services in the presence of heterogenous households,” *Environmental and Resource Economics*, Vol.26, No.2, pp.211-226.
- Fullerton, Don and Thomas C. Kinnaman (1995) “Garbage, recycling, and illicit burning or dumping,” *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol.29, No.1, pp.78-91.
- Fullerton, Don and Wenbu Wu (1998) “Policies for green design,” *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol.36, No.2, pp.131-148.
- Highfill, Jannett, Michael McAsey, and Robert Weinstein (1994) “Optimality of recycling and the

location of a recycling center,” *Journal of Regional Science*, Vol.34, No.4, pp.583-597.

Hosoda, Eiji (2007) “International aspects of recycling of electrical and electronic equipment: Material circulation in the East Asian region,” *Journal of Material Cycles and Waste Management*, Vol.9, No.2, pp.140-150.

van Egteren, Henry and Marian Weber (1996) “Marketable permits, market power, and cheating,” *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol.30, No.2, pp.161-173.

Wertz, Kenneth L. (1976) “Economic factors influencing households' production of refuse,” *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol.2, No.4, pp.263-272.

3.2.3.2 制度実証的分析

前節の理論的分析に対し、本節では中国における静脈資源の発生地と集散地、リサイクルプラントの配置の関係性について制度実証的視角から検討してみる。

(1) 廃棄物の発生地と集散地の関係

中国各地域(31 省・直轄市・自治区)での工業固体廃棄物は地域総生産 (GRP: Gross Regional Product) との相関関係は見られない。工業固体廃棄物の発生源を見ると電力・熱エネルギー、金属 (鉄・非鉄)、石炭産業の割合が高く、発生量には地域の主力産業の種別が影響を与えているものと推測される。

他方、生活ごみについては GRP (2013 年) の上位 5 位が広東省、江蘇省、山東省、浙江省、河南省であるのに対し、生活ごみ回収運搬量 (2013 年) の上位 5 位は広東省、江蘇省、浙江省、山東省、遼寧省の順 (河南省は 6 位、遼寧省は GRP では 7 位) で GRP との相関が見られる³⁹。(表 23)

表 23 中国における地域総生産 (GRP) と廃棄物発生・回収運搬量 (2013 年)

地区	省・市・区	地域総生産 (GRP) (億元)	工業固体廃棄物発生量 (万 t)	生活ごみ回収運搬量 (万 t)
華北	北京	19500.56	1044.12	671.7
	天津	14370.16	1592.11	200.0
	河北	28301.41	43288.78	585.3
	山西	12602.24	30520.46	394.6
	内蒙古	16832.38	20080.59	350.1
東	遼寧	27077.65	26759.45	927.1

³⁹ 生活ごみについては回収運搬量のため、地域経済と密接な関係があるインフラ整備の状況に影響を受ける点に留意が必要である。

北	吉林	12981.46	4591.13	485.4
	黒龍江	14382.93	6094.49	581.9
華東	上海	21602.12	2054.49	735.0
	江蘇	59161.75	10855.87	1202.7
	浙江	37568.49	4299.58	1123.3
	安徽	19038.87	11936.74	455.9
	福建	21759.64	8535.17	551.8
	江西	14338.50	11518.19	339.0
	山東	54684.33	18172.44	1007.4
中南	河南	32155.86	16270.08	805.6
	湖北	24668.49	8180.61	745.8
	湖南	24501.67	7805.68	616.8
	広東	62163.97	5911.84	2092.1
	広西	14378.00	7675.64	302.3
	海南	3146.46	414.89	125.3
西南	重慶	12656.69	3161.80	349.8
	四川	26260.77	14006.62	750.7
	貴州	8006.79	8194.05	248.4
	雲南	11720.91	16039.97	324.1
	西藏	807.67	361.52	24.1
西北	陝西	16045.21	7491.10	437.3
	甘肅	6268.01	5907.22	272.8
	青海	2101.05	12377.39	74.1
	寧夏	2565.06	3276.85	106.0
	新疆	8360.24	9283.05	352.3
全国		568845.2	327701.94	17238.6

(出典) 中国統計年鑑 2014 (中国国家统计局編)

これらの静脈資源については、特定の地域に集中して集められる(集散地)。中国物資再生協会によれば中国における廃プラスチック、廃タイヤ、廃非鉄金属の集散地は、それぞれ30、21、14カ所ほどあり、地区別にみると四川省にある1カ所を除き全てGRPの大きい華東、中南、華北地区にそれぞれ36、14、14カ所と集中している。

また、31 の省・市・区別にみると集散地の存在と静脈資源回収量の多さについては総じて相関関係が見られ、特に廃プラスチック、廃タイヤでは顕著である。他方、非鉄金属については、この関係がさほど明確ではない（表 24）。

つまり、廃非鉄金属の集散地は地区を越えることまではないが、必ずしも静脈資源が発生する省・市・区に存在する必要性が低いと推測される。この理由として、廃プラスチック、廃タイヤより体積・重量比で資源価値が高い非鉄金属は、回収範囲が広く（輸送距離が長く）、また、中国における廃非鉄金属の 3 分の 2 は輸入により占められているため港湾からの運送の利便性なども重視されることが予想される（表 25）。

前節における理論的分析ではリサイクルプラントは①リサイクル率が低い場合は地域の中心部に、高い場合は市場の近くに、②輸送費用コストがかかる、あるいはリサイクル品の価格が低い場合は地域の中心部に、逆の場合は市場の近くに建設されとの結論を得た。

廃棄物の発生地と集散地の関係について、華北、東北などの地区を地域とし、省・市・区を家計かつ市場、リサイクル率を回収率、集散地をリサイクルプラントとみなし、理論的分析の結果を検証すると、①については、回収率が比較的高い廃タイヤ（24.9%）、廃プラ（13.1%）については集散地は省・市・区に点在し、回収率が低い廃非鉄金属（銅 1.1%、アルミ 2.5%、鉛 0.6%）は地域の範囲内で立地しており、理論的分析の結果に整合しているが、②については、比較的重量の軽い廃プラ、廃タイヤは Informal Sector により人力（リヤカーなど）で集散地へ回収されるものも多く廃非鉄金属と比較し相対的に輸送費用コストが安い、リサイクル品の価格も安いと思われ、単純な検証は困難であった。

表 24 中国における静脈資源の集散地数と回収量予測値（2013 年）

地区	省・市・区	廃プラスチック		廃タイヤ		廃非鉄金属			
		集散地 (所)	回収量 (万 t)	集散地 (所)	回収量 (万 t)	集散地 (所)	銅	アルミ	鉛
							回収量 (万 t)		
華北	北京	1	37.67	1	16.38	1	2.80	10.01	1.96
	天津	1	21.31		6.76	1	1.73	5.13	1.51
	河北	3	73.36	3	18.50	1	6.20	12.76	4.62
	山西		30.49	2	11.18		2.44	4.81	1.85
	内蒙古		25.90		8.10		1.89	3.94	2.60
東北	遼寧		51.83		10.82		5.38	12.50	4.72
	吉林		26.31		5.94		2.32	4.88	3.94
	黒龍江		36.77		6.80		3.97	7.90	1.91
華	上海	1	42.78		6.78		3.91	13.74	2.22

東	江蘇	4	117.77	1	24.56	2	9.81	23.86	7.47
	浙江	6	90.07	5	23.15	3	6.75	17.52	4.63
	安徽		48.05	1	9.01		4.10	8.65	3.53
	福建	3	51.78	1	9.42		4.34	10.13	2.68
	江西		36.81		6.52		2.73	5.69	2.48
	山東	6	120.40	2	27.50	1	9.93	22.06	7.82
中 南	河南		86.35		15.59	2	6.64	8.52	5.49
	湖北		51.99	1	8.37	2	4.68	9.46	2.95
	湖南		55.11		8.94	1	4.65	9.59	2.87
	広東	4	129.73	4	34.94		10.37	27.53	5.69
	広西		37.39		6.45		3.16	6.46	1.93
	海南		7.32		1.66		0.65	1.29	0.37
西 南	重慶		25.70		4.52		2.32	4.55	2.06
	四川	1	66.72		12.97		5.69	11.85	3.70
	貴州		19.60		4.80		1.89	6.97	0.87
	雲南		35.24		9.99		2.85	5.77	1.76
	西蔵		2.02		0.74		0.15	0.36	0.16
西 北	陝西		32.22		6.91		2.32	5.05	2.41
	甘肅		17.05		2.98		1.50	3.53	0.86
	青海		4.59		1.23		0.35	0.73	0.31
	寧夏		5.29		1.53		0.38	0.81	0.43
	新疆		20.54		4.99		1.58	3.43	1.18
全国		30	1408.19	21	318.56	14	117.48	269.49	86.99

(出典) 中国物資再生協会資料及び「我国静脈産業発展戦略」(中国環境出版社)

表 25 中国における静脈資源別の輸送距離

種類	公路運輸最大物流半径 (km)
廃鉄鋼	200-300
廃銅	800-1,000
廃アルミ	800-1,000
廃鉛酸電池	700-900

廃 PET	200-300
廃 PVC	150-200
廃タイヤ	150-200
廃自動車	500-600
廃電器電子製品	500

(出典)「我国静脈産業発展戦略」(中国環境出版社)

(2) 中国における都市鉱山モデル基地

中国においては地域経済の牽引や環境保全を目的に静脈企業を集積した工業園區の建設を進めており、これまでも国家發展改革委員会による「循環經濟試点」(2005-2007 年)、国家環境保護総局(当時)による「国家生態工業モデル園區」(1999-2008 年)などの取組が行われてきた。現在は国家發展改革委員会及び財政部による「都市鉱山モデル基地」の指定が 2010 年 5 月より始まり、2014 年 7 月までに 44 ヲ所のモデル基地が指定された⁴⁰(表 26)。

表 26 都市鉱山モデル基地

第 1 次 7 箇所	安徽省界首市田營循環經濟工業園區(安徽)、天津子牙循環經濟産業区(天津)、寧夏金田産業園(寧夏)、湖南汨羅産業園(湖南)、広東清遠再生産業園(広東)、青島新天地再生産業園(山東)、四川省西南内江再生産業園(四川)
第 2 次 15 箇所	上海燕龍基再生資源利用モデル基地(上海)、広西梧州再生資源循環利用園區(広西)、江蘇邳州市循環經濟産業園再生鉛産業集聚区(江蘇)、山東臨沂金升有色金属産業基地(山東)、重慶永川工業園區港橋工業園(重慶)、浙江桐廬大地循環經濟産業園(浙江)、湖北谷城再生資源園區(湖北)、大連国家生態工業モデル園區(遼寧)、江西新余鋼鉄再生資源産業基地(江西)、河北唐山再生資源循環利用科技産業園(河北)、河南大周鎮再生金属回收加工区(河南)、福建華閩再生資源産業園(福建)、寧夏灵武市再生資源循環經濟モデル区(寧夏)、北京市綠盟再生資源産業基地(北京)、遼寧東港再生資源産業園(遼寧)
第 3 次 6 箇所	広東贏家再生資源回收利用基地(広東)、滁州市廃自動車循環經濟産業園(安徽)、新疆南疆都市鉱山モデル基地(新疆)、山西吉天利循環經濟科技産業園區(山西)、黒竜江省東部再生資源回收利用産業園區(黒龍江)、永興県循環經濟工業園(湖

⁴⁰ 第 3 次指定については吉林高新循環經濟産業園區を指定したとする資料もあり、同園區が含まれる場合は 45 ヲ所となる。

	南)
第4次 10箇所	荊門格林美都市鉱山資源循環産業園（湖北）、鷹潭（貴溪）銅産業循環経済基地（江西）、江蘇如東循環経済産業園（江蘇）、台州市金属資源再生産業基地（浙江）、中航工業戦略金属再生利用産業基地（河北）、四川保和富山再生資源産業園（四川）、洛陽循環経済園区（河南）、貴陽白雲経済開発区再生資源産業園（貴州）、福建海西再生資源産業園（福建）、厦門緑洲資源再生利用産業園（福建）
第5次 6箇所	煙台資源再生加工モデル区（山東）、内蒙古包頭アルミ産業園区（内蒙古）、蘭州経済技術開発区紅古園区（甘肅）、克拉瑪依石油加工工業園区（新疆）、哈爾浜循環経済産業園区（黒龍江）、玉林龍潭輸入再生資源加工利用園区（広西）

これらの工業園区を類別すると、①政府主導型、②企業誘導型、③自然発生型の3つに大別される。第1の政府主導型は有害廃棄物の集中的処理や輸入廃棄物の限定区域での処理など環境保全上の理由や地域経済の振興などを目的とし、政府が土地開発を行い企業を移転、誘致するタイプ（第1類型）である。典型的な例としては、天津子牙循環経済産業区、青島新天地再生産業園などが挙げられる⁴¹。第2の企業誘導型は自動車産業など川上の動脈産業の発展により、川下の静脈産業が発展をした湖北谷城再生資源園区のようなタイプ（第2-1類型）と、大手の静脈産業が土地開発も含め行い自らのプラントを建設するとともに同業企業を誘致する大連国家生態工業モデル園区や荊門格林美都市鉱山資源循環産業園のようなタイプ（第2-2類型）がある。第3の自然発生型はインフォーマルセクターなどによる静脈資源の集積が行われてきた地域（集散地のケースもある）が、汚染対策や静脈資源の回収の容易さなどの理由から政府や企業によって園区として整備されるタイプ（第3類型）である。典型的な例としては、安徽省界首市田宮循環経済工業園区、四川省西南内江再生産業園などが挙げられる⁴²。

このうち、第2-1類型、第3類型は静脈資源の回収のしやすさという点で、他の類型より利点がある。ただし、その他の類型の場合であっても政府の強力な指導により競争企業を排除し独占的な資源回収が可能となる場合や、第3類型ながらインフォーマルセクターの力が強すぎて資源回収が円滑に行われない場合などもある。

また、都市鉱山モデル基地の場合、中国全土にバランスをとって整備を進めたい中央政

⁴¹ 天津子牙循環経済産業区については細田・染野（2010）参照。

⁴² 四川省西南内江再生産業園については染野（2014）参照。

府や、地域経済の発展に向けてモデル基地を設置したい地方政府の意向により、集散地の存在とは関係なく中国全土に分散をしている。これらのなかには、静脈資源の回収（家計）にも、資源の売却先（市場）にも遠い地点に立地をした基地が存在している可能性があり、前節の理論的分析からも、今後、結果的に淘汰をされていく基地が発生するであろう（表 27）。

表 27 集散地と都市鉱山モデル基地の関係

地区	集散地（所）	都市鉱山モデル基地（所）
華北	14	6
東北	0	4
華東	36	15
中南	14	10
西南	1	4
西北	0	5

さらに、これと同様のことが廃家電リサイクルのプラント立地においても起き得るものと思われる。

耐久消費財である家電四品目（テレビ、冷蔵庫、洗濯機、エアコン）やパソコンの廃棄量については広東省、江蘇省、浙江省、山東省、河南省などが上位で、GRP との相関がみられる。他方、中国版の家電リサイクル法である廃棄電器電子製品回収処理管理条例では、政府の補助金を受けられる企業（指定は再生処理プラント単位）が 2014 年 6 月現在まで 4 次にわたり 107 社、指定をされている。前述の上位 5 省には 107 社のうち 31 社があるが、その他の 70 社以上は分散して各省市区にあり、資源回収に支障をきたすプラントは淘汰されていくであろう。

(3) 分析のまとめ

前節の理論的分析では単純化のため資源回収と資源処理を一体のものとして考え家計、リサイクルプラント、市場の 3 か所の関係を分析したが、現実的には静脈資源の回収、再生利用は資源の発生地点、一次的な集散地、リサイクルプラント、再生資源の売却先（市場）など多層な関係にあり、より多くの要因を考慮する必要性が確認された。

また、工業園區やプラントの立地にあたっては、特に資源回収の優位性が重要であり、政府や企業が主導して立地したケースは、中長期的には経営が困難になることが予想される。これは理論的分析の結果を裏付けるものでもあり、今後の中国市場を観察するポイント

トの一つと考えられる。

具体的には、前節の理論的分析では大都市からの距離と動脈産業（市場）の立地から天津子牙、大連庄河を比較的有利な立地とし、唐山曹妃甸が比較的不利と整理した。本節で行った工業園區の類型では天津子牙、唐山曹妃甸は第1類型、大連庄河は第2-2類型となる。これらの類型はいずれも静脈資源の回収の利便性は低く優劣はつけ難いが、天津子牙においては他の2地域に比較すると地元政府の指導力が強いという特徴があった。以上を勘案すると、この3地域は天津子牙、大連庄河、唐山曹妃甸の順に工業園區としての優位性があると推測される⁴³。

最後に日系企業による廃棄物回収とリサイクルプラントの立地にあって留意すべきことについて記しておきたい。第1にプラントを立地する工業園區については、資源回収での優位性があるかどうかを重要な基準として選定することである。昔からの集散地に近接する工業園區であれば、少なくとも近隣地域での廃棄物のフローは存在しているわけで、あとはそのフローをいかに自社へつなげるかが重要なポイントとなる。望ましくは中国企業と同様にインフォーマルセクターを吸収し、傘下に置くことであるが、日系企業にとっては単純な価格競争的な方法や縁故による方法での提携は困難であろう。これに対し、技術的な優位性を利用してフローを確保することはある程度可能である。ある日本の企業では廃棄物回収にあたって、回収車へのGPS及びバーコードリーダーの搭載、収集先・家庭ごみ集積場等へのバーコード設置により徹底した廃棄物回収管理（回収忘れの防止や不適正な廃棄物投棄への対応など）を行うとともに、収集ルート効率化を図りコスト削減を図っている。現地に合わせたスペックの変更などは必要であろうが、環境規制が強化されていくなか、このような環境保全型の廃棄物回収システムは日本の優位性を示すことができる可能性があるかもしれない。第2に収益性の重視である。中国企業の特徴として市場シェア（廃棄物回収量）の重視、資金力や優遇措置を背景にした過剰な設備投資、不動産業など異業種からの参入や事業経験の浅さなどからの経営管理ノウハウの不足などが挙げられる。さらに近年は企業間競争の激化や中国経済の成長率低下などもあり、収益が赤字となる企業も増加しており、経済成長率については良くても3%程度という声も聞こえるほどである。中国企業としては日系企業が持つ先進的な環境技術のみならず、収益性を重視した経営システムに対する関心も高い。日系企業においては、このような優位性を活かし、「信頼のおける」中国企業と提携をすることが戦略的に望ましいと思える。なお、中国企

⁴³ 天津、唐山を第1類型としたが、両地域には、河北省文安県（子牙より約40km）、唐山玉田県（曹妃甸より約100km）というインフォーマルセクターによる廃プラ、廃タイヤなどの集散地も近接している。しかし、玉田県には既に中国再生資源開発有限公司が工場を建設しており、この点でも曹妃甸は優位性が低いと考えられる。

業に対する信頼性を見極めという点ではそもそもの困難性もあるが、この点については（特に直接的な利害関係を有しない学識者や公益的立場の者を含め）日本及び中国の複数の関係者らからの 1st オピニオン、2nd オピニオンを集めていくか、或いは日系商社などの仲介によりリスクヘッジを行うことが考えられる。こうしたサードパーティの連携・協力は、今後中国環境ビジネスに日本企業が展開するときに重要なカギとなると思われる。

（参考文献）

- 中華人民共和国国家統計局編（2014）「中国統計年鑑」中国統計出版社, 中文.
- 喬琦・劉強・劉景洋等/編著（2013）「我国静脈産業發展戰略」中国環境出版社, 中文.
- 中国物資再生協会（2014）「中国再生資源行業發展報告（2013-2014）」中国財富出版社, 中文.
- 中国再生資源回收利用協會, 清華大学環境学院（2014）「2014 中国再生資源行業發展研究報告」中国再生資源回收利用協會, 中文.
- 楊中芸・肖迪・袁劍剛著（2012）「再生資源産業研究－産業生態学的視角」科学出版社, 中文.
- 細田衛士, 染野憲治（2010）「中国における循環ビジネスの今後」（一財）霞山会『東亜』No.519, pp102-111.
- 染野憲治（2014）「動脈と静脈が織り成す中国内陸經濟の変化」（公財）東京財団『Views on China』No.2, pp79-88.
- 染野憲治（2014）「中国の静脈産業と循環經濟政策」信山社『環境法研究』第2号, pp93-115.
- 細田衛士, 染野憲治（2014）「中国静脈ビジネスの新しい展開」北海道大学『經濟学研究』Vol.63, No.2, pp13-27.

3.2.4 静脈物流システムに関する分析－廃棄物貿易の分析

これまでの分析では、日本と新興国における廃棄物処理・リサイクルをそれぞれ「閉じた世界」として検討してきた。その上で日本の環境技術を生かしたビジネスを各国で展開する上での課題を抽出した。しかし近年、日本から中国をはじめとする新興国へ輸出されている使用済み製品やリサイクル可能な資源は確実に増加している。いわば、日本の使用済み製品が日本国内ではなく、中国やタイなどの新興国でリサイクルされているのである。

市場メカニズムが働き、経済的な理由で先進国ではリサイクルできなかった使用済み製品が途上国で資源化されるとすれば、これほど素晴らしいことはない。だが、これまでみてきたように、新興国における廃棄物処理及びリサイクルの最大の課題は、インフォーマ

ルセクターの存在であり、そのようなセクターによるリサイクルには汚染の顕在化の懸念が常につきまとう。リサイクルビジネスにおいては、集荷が極めて重要であるが、インフォーマルセクターの存在が集荷にどのような影響を与えるかについてはこれまであまり検討されてこなかった。

また、これまでの分析とは逆説的な立場であるが、日本の優れた環境技術を生かしていく方法は何も新興国にリサイクル企業が進出することだけではない。これまで海外に輸出されてきた使用済み製品等を国内に留め、国内で処理することでも高い環境技術を生かすことができる。もちろん、労働集約的な一部のリサイクルについては賃金の差異を利用した分業がより効率的なリサイクルとなる。しかし、そのような場合であったとしても、不適正処理による外部不経済が危惧される場合には国内リサイクルが正当化されよう。

本節ではこうした使用済み製品の国際貿易を規定する要因として、静脈物流のコストを取り上げ、その特徴を分析する。

3.2.4.1 インフォーマルセクターと物流コスト

逆有償となる静脈経済においてはモノとカネが同方向に流れることから、情報の非対称性の問題が発生し、市場メカニズムは十分に機能しない。そのため、市場メカニズムを外側から支えるレジームが必要となる。こうした制度はハードローを核としているが、多くの場合、完全ではなく、ソフトローによって維持されている。ソフトローは必ずしも法的拘束力のあるものではないから、その運用には濃淡がある。こうした隙間をついたり、場合によっては違法行為まで行って利潤を獲得する主体をインフォーマルな事業者と呼ぶ⁴⁴。また、そのような事業者からなる経済部門をインフォーマルセクターと呼ぶことにする。インフォーマルセクターは法の枠組みの外で活動することも多いことから、自社の汚染に対して十分な注意を払っていない。以下では、3.2.4 節の理論分析に従って、インフォーマルセクターは、適切な汚染防止活動を行っていない主体、と定義する。

以下では、インフォーマルセクターが存在する場合の静脈物流コストの問題を分析するためにホテリングによる線分モデルを用いる。長さが 1 の線分に消費者が一様に分布している状況を考える。また、異なる限界費用を持つ 2 社のリサイクル企業(a,b)が線分の両端にそれぞれ立地しているものとする。すなわち、企業 a は線分の左端の 0 の点に、企業 b は右端の 1 の点に立地しているものとする。

リサイクルサービスを求める消費者は一つだけリサイクルしてほしい使用済み製品を保有しており、必ず 2 社のうち、どちらかのサービスを購入するものとする。このとき、消

⁴⁴ 細田 (2015)、P101 の定義による。

費者の効用関数 U は以下のように表現される。

$$U = r - ty - p_i \quad (1)$$

ただし、 r は消費者の支払意思額、 y は自宅からサービスを受ける企業 i までの距離、 t は単位あたり交通費用、 p_i は企業 i がつけた価格を意味する。このとき、必ずどちらの企業からサービスを購入しても無差別となる消費者 $\hat{x}$ がいて、以下で定義できる。

$$r - t\hat{x} - p_a = r - t(1 - \hat{x}) - p_b \rightarrow \hat{x} = \frac{1}{2} + \frac{p_b - p_a}{2t} \quad (2)$$

フォーマル企業は十分な汚染防止投資を行っていることと定義していることから、費用がインフォーマル企業よりも高いと仮定することは自然である。以下では、リサイクル企業 a をフォーマルセクターとし、その限界費用 c_a はリサイクル企業 b よりも大きいものとする。リサイクル企業 a 及び b の利潤最大問題は以下ようになる。

$$\Pi_a = (p_a - c_a) \left(\frac{1}{2} + \frac{p_b - p_a}{2t} \right) \quad (3)$$

$$\Pi_b = (p_b - c_b) (1 - \hat{x}) = (p_b - c_b) \left(\frac{1}{2} - \frac{p_b - p_a}{2t} \right) \quad (4)$$

これをといて、

$$\begin{cases} p_a = \frac{t + c_a + p_b}{2} \\ p_b = \frac{t + c_b + p_a}{2} \end{cases} \quad (5)$$

(5)を使って、均衡価格を導出して、(2)に代入することで、

$$\hat{x} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2t} \left(\frac{c_b - c_a}{3} \right) \quad (6)$$

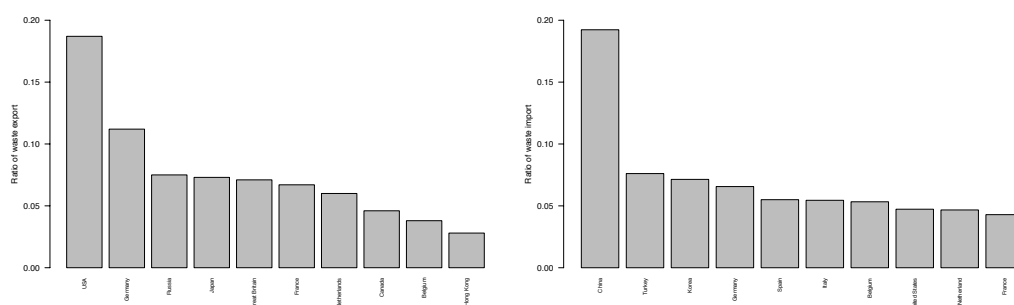
を得る。この線分モデルでは、 0 から $\hat{x}$ の間が企業 a のマーケットである。今、企業 a はフォーマルセクターであると仮定しているので、 $c_b < c_a$ である。よって、(6)の第2項はマイナスとなり、企業 b のマーケットシェアの方が大きいことになる。この効果は、インフォーマルセクターが存在しない場合には、すなわち、 $c_b = c_a$ の場合には存在せず、単位物流コストの大きさに関わらず、2社のマーケットシェアは同一になる（ただし、物流コストの大小に応じて、2社共通の競争価格は変化する）。

また、単位物流コスト t が大きくなればなるほど、インフォーマルセクターとフォーマルセクターのマーケットシェアは近づいていく。逆に単位物流コストが小さくなればなるほど、インフォーマルセクターとフォーマルセクターの価格差が意味を持ち、インフォーマルセクターのマーケットシェアが増加していくことになる。このように、インフォーマルセクターの存在する経済においては、物流コストが経済活動にもたらす効果がより重要な意味をもってくる。

3.2.4.2 廃棄物貿易の現状

経済のグローバル化は進展著しいが、いわゆる動脈経済と同様に廃棄物も国境を超えた取引が盛んになっている。Kellenberg (2012)によれば、世界各国の間で取引された廃棄物は2007年に1.9億トンとなっている⁴⁵。2001年のニューヨークでの9.11同時多発テロで発生したがれきが約160万トン、2011年の東日本大震災で発生したがれきが概ね2500万トンであることを考えると、いかに膨大な量が取引されているかがわかる。さらに興味深い点は、この数値は2002年から2007年までの5年間に約67%増加しているという点である。

Kellenberg (2012)が集計した廃棄物貿易の国別シェアを比較したものが図26である。まず、輸出サイドをみると、米国が約20%のシェアをもち、世界で最も廃棄物を輸出している国であることがわかる。次にドイツ、ロシア、日本が10%前後で続いている。上位10カ国はいずれも先進国であることも特徴である。次に輸入面をみると、中国が全体の約20%で突出している。中国に続くのは近年経済成長が著しいとされているトルコであるが、中国の半分のシェアにも満たない。中国の廃棄物処理は中国以外の他国の20%の廃棄物を処理しているとも言え、廃棄物貿易を考える上で、中国がいかに重要であることを示したものである。



出所：山本(2013)

図26 廃棄物貿易の国別シェア（左：輸出、右：輸入）

⁴⁵ Kellenberg(2012)は廃プラスチックや銅スクラップなどHSコード6桁で62種類(詳細は同文献のTable A1を参照されたい)を合計してこの数値を算出している。

次に我が国の廃棄物貿易をみていると中国との結びつきの強さが改めて浮き彫りになる。

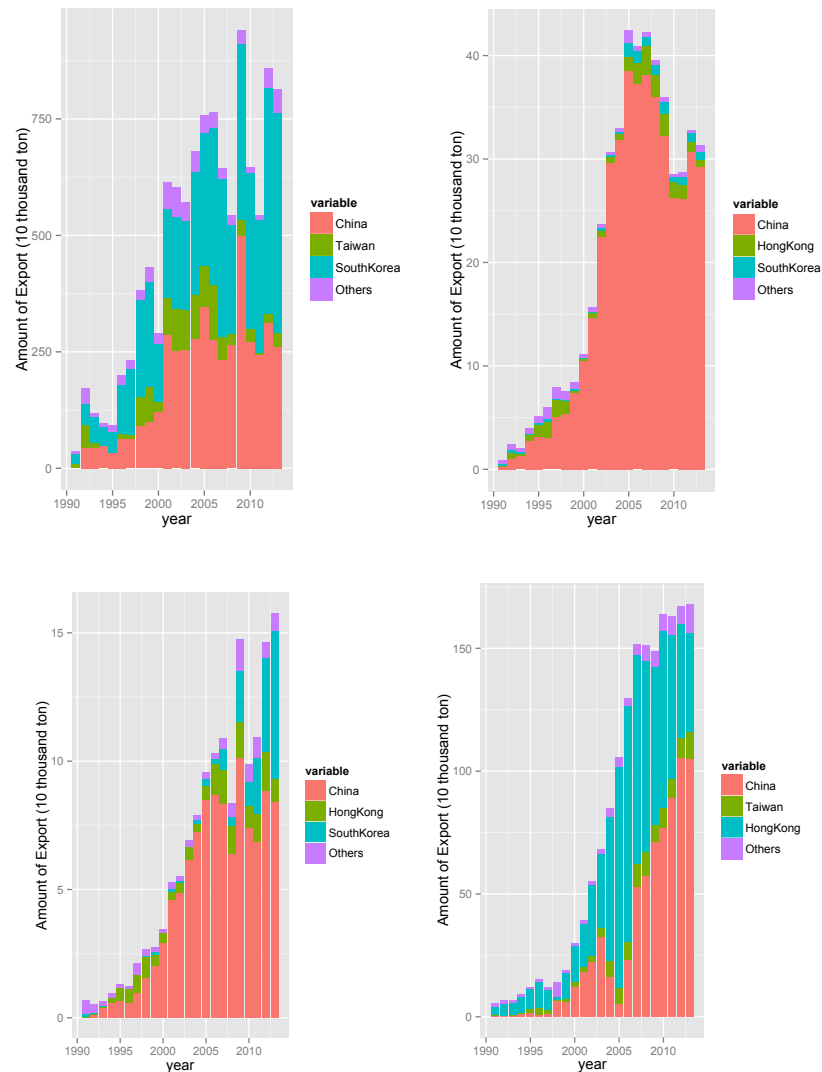


図 27 我が国の廃棄物輸出の推移（左上：鉄くず、右上：銅くず、左下：アルミくず、右下：プラスチックくず）

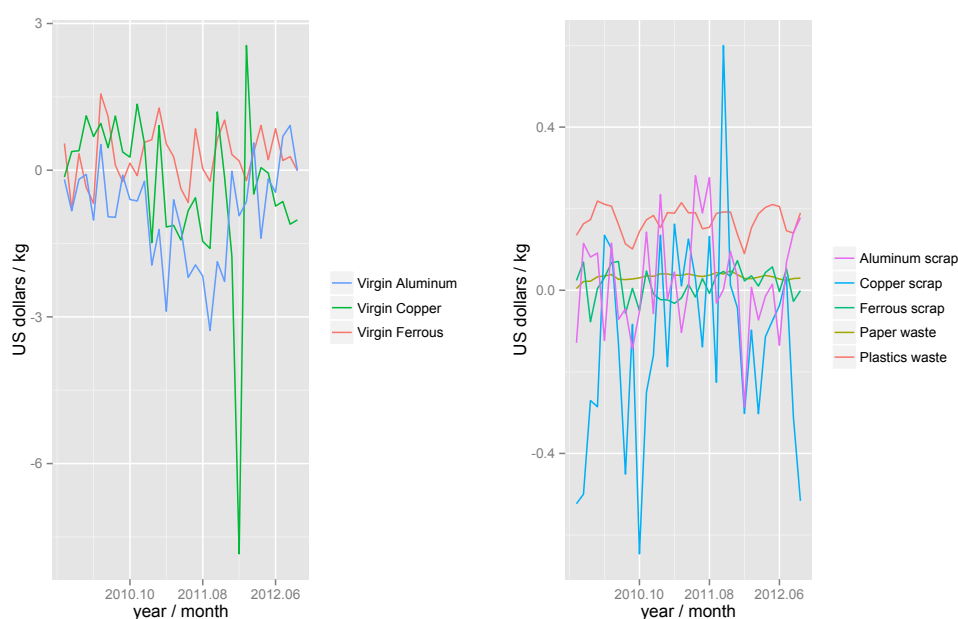
図 27 は我が国の一部の循環資源の輸出量の推移を国別に示したものである。中国向けの輸出はどの資源においても赤色で示しているが、いずれをみても過去 10 年間に大幅に増加していることがわかる。以上を踏まえ、以下では日本から中国へ輸出される循環資源の動向に焦点を絞って分析を行う。

3.2.4.3 静脈物流コスト

家庭ゴミを除くと通常国内を移送されている循環資源の物流コスト（静脈物流コスト）

を統一的に把握することはデータが存在しないため困難である。しかし、貿易については輸出国と輸入国の通関を通る際に異なる定義で記録されることから、物流コストとして解釈できる部分を抽出することが可能である。輸出の際には、FOB(Free on Board: 本船甲板渡し条件)で記録されるため、海上運賃、保険料、各種税は含まれない。一方、輸入時の記録では、CIF(Cost, Insurance, Freight: 運賃・保険料込み条件)での記録となる。通関使用料や関税に変化がないと仮定すれば、CIF から FOB を引いたものは貿易に係る物流コストを示す指標となる。

図 28 は日本から輸出される循環資源の物流コストの推移を示したものである。



出所：UN Comtrade データから筆者作成

図 28 資源の物流コストの推移（左：最終財、右：スクラップ）

使用したデータは国連が提供している UN Comtrade である。UN Comtrade では中国側のデータ提供が限られていることから、使用したデータは 2010 年 1 月から 2012 年 10 月までとなっている。図 28 の縦軸は単位量あたりの物流コストであるが、これを見ると、物流コストは最終財の方が高くなっていることがわかる。月次でのバラツキはあるものの、全体的な傾向としては、最終財の方が約 10 倍の単位量あたりの輸送コストとなっている印象を受ける。また、最終財、スクラップのいずれについてもマイナスとなっている月があることがわかる。これは契約時期と実際の荷動きに若干のズレがある可能性などがその理由と考えられる。そのため、この数値の大小から絶対値としての静脈物流コストを議論することは誤解を招きやすい。そこで、単純な平均値による比較ではなく、両者の分散がどのよ

うな要因に影響を受けているかを分析する。

分析の方法としては、時系列分析の分散分解(variance decomposition、あるいは予測誤差分散分解：forecast error variance decomposition)と呼ばれる方法を適用する。分散分解とは、ある変数の予測できない変動を説明するために、どの変数が重要であるかを明らかにするものである。具体的には、相対的分散寄与率 (RVC: relative variance contribution)を各変数について計算したものをいう⁴⁶。

$$RVC_{ij}(k) = \frac{MSE(\hat{y}_{i,t+k|t}) \text{ において } y_j \text{ が寄与する部分}}{MSE(\hat{y}_{i,t+k|t})} \quad (7)$$

ただし、 $MSE(\hat{y}_{i,t+k|t})$ は、ベースとなる VAR モデルの平均 2 乗誤差(mean squared error)、すなわち、予測誤差の 2 乗の期待値である。この RVC(k)を複数の変数について行うことで、短期的に影響の強い変数か長期的に影響を持つ変数なのか、といった比較を行うことができる。

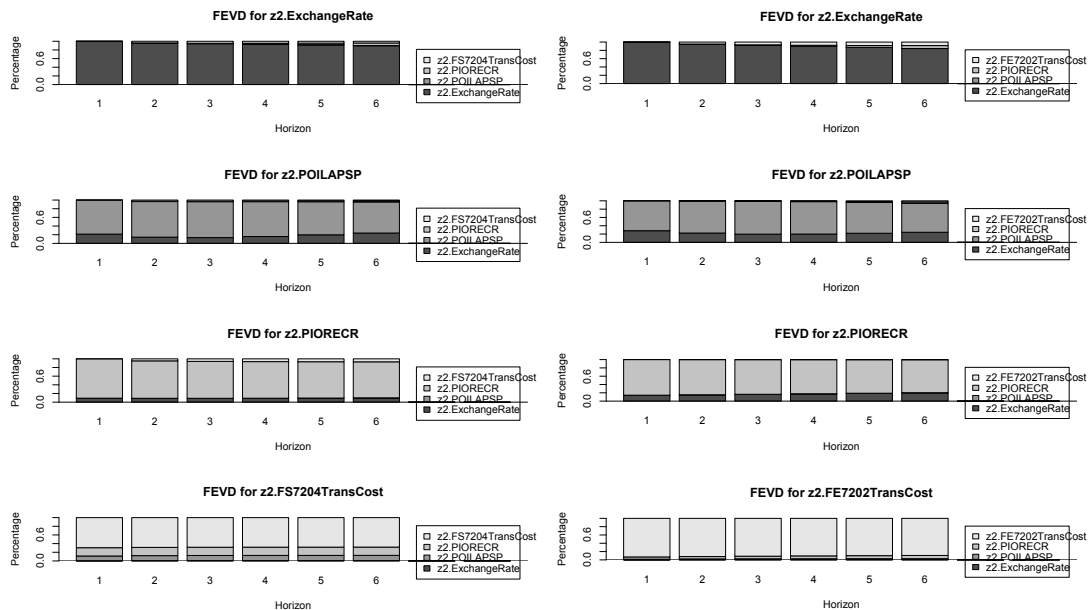


図 29 分散分解の結果 (左：鉄スクラップ、右：鉄)

⁴⁶ ここでの解説は、沖本(2012)による。

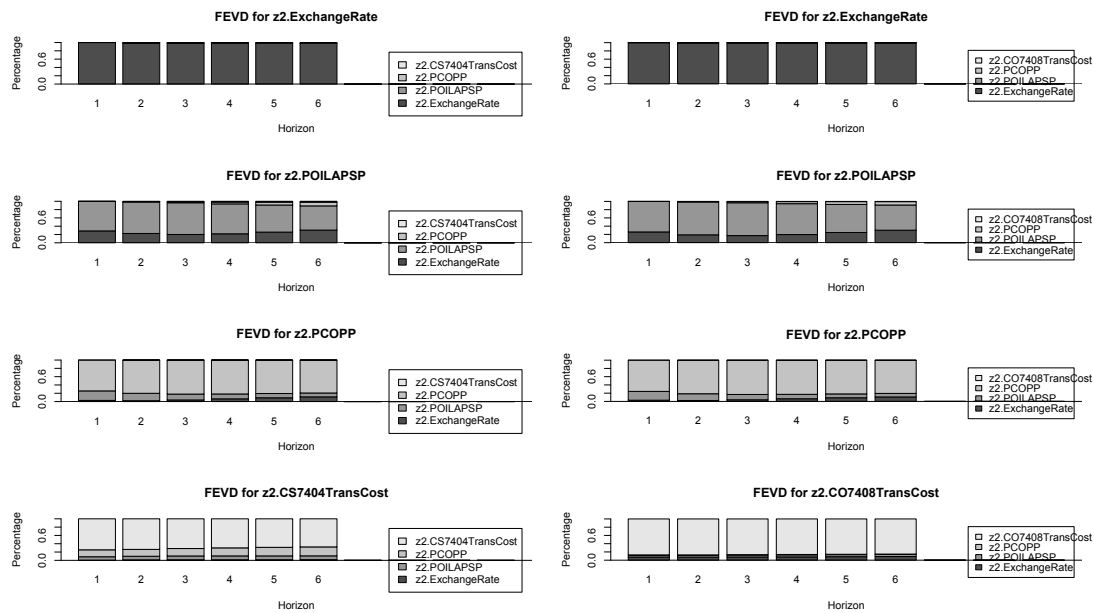


図 30 分散分解の結果 (左：銅スクラップ、右：銅)

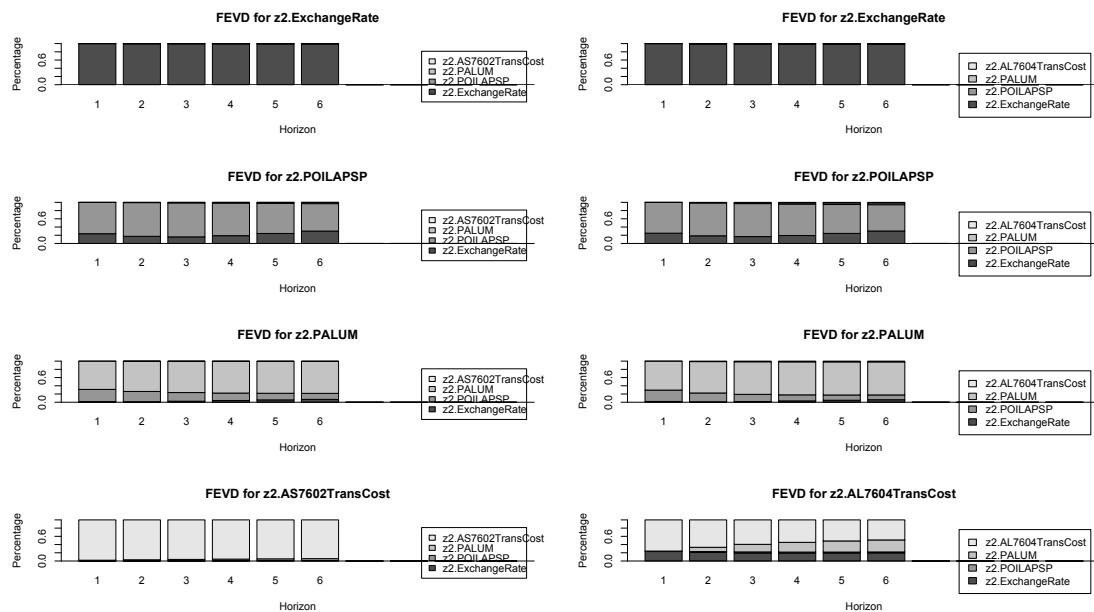


図 31 分散分解の結果 (左：アルミニウムスクラップ、右：アルミニウム)

図 29、30 及び 31 は、鉄スクラップ、銅スクラップ、アルミニウムスクラップの中国向け輸出の物流コストについての分散分解の結果を示したものである。ベースとなっている VAR モデルには、対ドル為替レート、原油価格インデックス(IMF Primary Commodity Data

より)、バージン財の価格(LME 価格)、(本稿で定義した)静脈物流コストが用いられている⁴⁷。各図では、左側の4つのグラフはスクラップ、右側は最終財を扱っている。4つのグラフは上から外生性の高い順に結果を掲載している。例えば、図の左側の一番上は、為替レートの変動に対して、4つの変数がどの程度の影響を与えるかを示している。同様に二番目は原油価格インデックスに対して、4つの変数が与える影響を示している。この結果をみると、最も外生性が高いと仮定している為替レートはいずれの財のケースをみても、ほぼ自身の変化のみが影響していることがわかる。次に原油価格インデックスをみると、外生性は比較的高いものの為替レートの影響を20%程度受けていることがわかる。バージン財の価格についても、各財を通じて、為替レートと原油価格インデックスから約20%の影響を受けている。

しかし、物流コストへの影響では財の間に大きな違いが生じている。まず、自身以外の影響の割合が、鉄スクラップと銅スクラップについてはバージン財の場合を大きく上回っている。鉄スクラップについてはバージン財の価格の影響が約19%、原油価格インデックスが約9%、為替レートの影響が6%となっているのに対して、バージン財の物流コストでは自身の価格が約9%、原油価格インデックスが2.5%、為替レートの影響についてはほぼゼロとなっている。同様の傾向が銅スクラップにもみられており、銅のバージン財の物流コストへの他の変数の影響は約半分である。

一方、アルミニウムについては全く逆の状況がみられる。バージン財のアルミニウムは変動のうち、約2分の1が他の変数の影響によるものである。特に、LMEにおけるアルミニウムの価格は約30%、為替レートが約20%の影響を与えているが、アルミニウムスクラップではこれら二つの変数の効果を合計しても5%以下である。

分析当初の仮説としては、静脈資源の物流コストの方がより他の経済環境の変化の影響を受けているのではないかと想定した。その意味では、鉄スクラップ、銅スクラップについては仮説通りの結果となり、その大きさも約2倍ということが明らかになった。これは、静脈資源の物流費用の方が景気動向の影響を大きく受けるため、景気低迷期には（汚染削減費用によりコストをかけている）フォーマルセクターにとっては集荷が困難になる可能性が高いことを意味している。しかし、アルミニウムスクラップについては全く反対の結論となった。これがアルミニウムに特殊な現象であるのかどうかをチェックするためには他の循環資源についても同様の分析を進める必要がある。しかし本研究ではデータ不足により検証できなかったため、この点は今後の課題としたい。

⁴⁷ 各図においてもこの順番で上から配置されている。

3.2.4.4 まとめ

本節では、静脈物流に焦点をあてて分析を行った。はじめに、静脈物流コストの特徴を理論的に分析した。リサイクル企業が法令を遵守し、同等の汚染削減努力をおこなって、同レベルの限界費用で競争を行う場合には、静脈物流費用は2社の間のマーケットシェアの大小に影響を及ぼさない。しかし、フォーマルセクターとインフォーマルセクターが混在するような場合のように、法令を遵守しないインフォーマルセクターの限界費用が小さい場合には、マーケットシェアに差異が発生する。その差異は静脈物流コストが小さければ小さいほど、大きくなっていくことも明らかになった。

次に静脈物流の現状を数値的に把握するために、静脈資源の貿易に着目した。これは一般廃棄物を除くと、貿易以外には物流コストをシステムティックに把握する方法がないためである。世界の静脈資源貿易で最大の輸入国は中国であり、我が国の最大の輸出先も中国であることから、日中間の循環資源に焦点をしばって時系列分析の方法に従って解析を行った。具体的には、鉄、銅、アルミニウムのスクラップと最終財の輸送コストを推計し、最終財の輸出入時とスクラップ輸出入時の物流コストの挙動に違いがあるかどうかをみた。分析に先立ち、運賃負担力の小さいスクラップについては他の経済要因による影響をより大きく受けているのではないかという仮説をたてた。解析の結果、鉄と銅については、スクラップの方が他の経済要因による影響を強く受けていることが明らかになった。これは、景気低迷期には汚染削減費用への投資を適正に行っているフォーマルセクターの集荷競争力を低下させ、インフォーマルセクターへと集荷がシフトしていく可能性があることを示唆している。しかし、アルミニウムについては最終財の方が大きな影響を受けているという結論が得られており、静脈資源全体の傾向と断定はできない。資源流出問題への対処も喫緊の課題となっており、静脈資源の貿易における静脈物流コストの分析は重要である。明確な結論を得るためにも、分析対象データを拡充してさらに詳細に分析を進める必要がある。

(参考文献)

Kaffine, D. (2014) “Scrap Prices, Waste and Recycling Policy,” *Land Economics*, vol 90, no. 1, pp. 169-180.

Kellenberg, D. (2012) “Trading Wastes,” *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 64, no.1, pp. 68-87.

Palmer, K., Sigman, H. and M. Walls (1997) “The Costs of Reducing Municipal Solid Waste,” *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 33, no. 2, pp. 128-150.

Pfaff, B. (2008) *Analysis of Integrated and Cointegrated Time Series with R*, Springer.

沖本竜義 (2012) 『経済・ファイナンスの計量時系列分析』, 朝倉書店.

細田衛士 (2015) 『資源の循環利用とは何か?』, 岩波書店.

山本雅資 (2013) 「第5章 廃棄物政策を巡る課題:東アジア「共生」に向けて」, 『交響するアジア:環境の視点からみた共生』, 能登印刷.

4. 結論

4.1 日系静脈企業のアジア新興国への進出可能性

4.1.1 日系静脈企業のアジア新興国への進出における課題

3.1.1、3.1.2 での調査結果或いは3.2.1で推測したように、アジア新興国では大量の廃棄物が排出されており、今後も経済の発展に伴い多様な廃棄物が排出されていくと考えられる。そして、これらの廃棄物（静脈資源）を資源化する静脈産業は未だ成熟しておらず、潜在的な市場規模は大きいものと考えられる。

本研究では、このようなアジア新興国の市場に日系静脈産業が参入するためには「静脈の系統制御の達成」が必要であるとの仮説を立てた。特にインフォーマルセクターをどうフォーマルセクターにするかが重要なポイントと考え、この点については3.2.2でも論じたとおりである。そこでは、ハードロー的な対策である罰則及びフォーマル化政策は一定の効果を持つが、社会全体の厚生を低下させる可能性もあり、その制度設計には状況に合わせた工夫が必要であるとの結論を得た。

(仮説)静脈の系統制御の達成

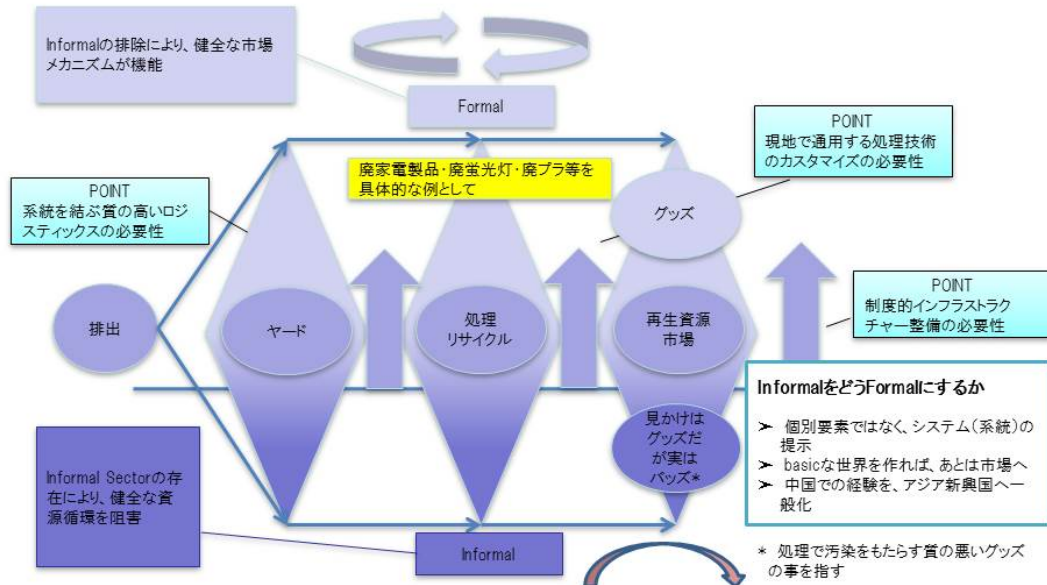


図 32 静脈の系統制御の達成（仮説）

次に、3.1.3 の日本、中国、タイの三カ国比較により、アジア新興国においては市場を取り巻くハードロー、ソフトロー、ガバナンス（これらが結合したものを「制度的インフラストラクチャー」と呼ぶ）が異なっていることが判明した。アジア新興国の多くでは、まだ、この制度的インフラストラクチャーが適正に設計されていないために情報の非対称性や優越的地域の乱用などに基づく市場取引が行われ、市場への信頼が著しく低下している。

つまり、現時点のアジア新興国市場は「量は大きい」が「質が低い」ため、質の高い日本市場を前提に活動している日系静脈企業にとっては参入が難しい。

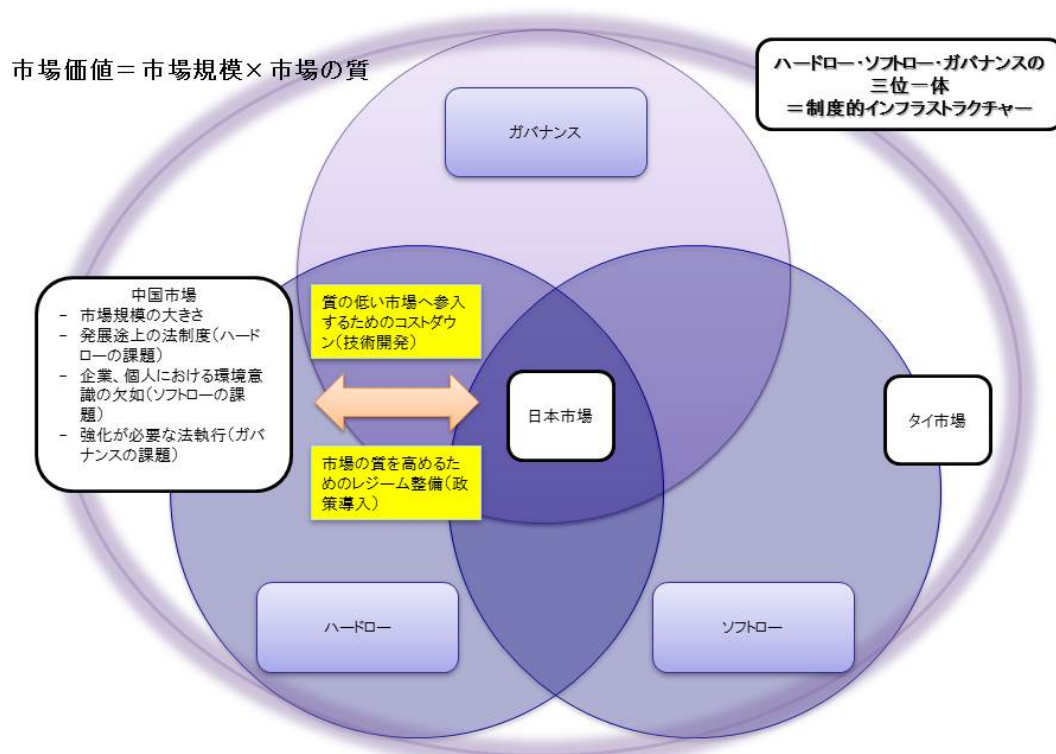


図 33 制度的インフラストラクチャー

それでは、アジア新興国においてどのような点が改善されれば、日系静脈企業の進出が可能になるのでしょうか。ここで、日本の静脈企業が日本市場で活動を行う場合、市場に参入をするための条件を単純化すると

- (1) 一定量以上の静脈資源（使用済み製品・部品・素材等）を収集することができる
- (2) 再生資源化（再使用・再生利用）の技術を有する
- (3) 再生資源の売却先がある
- (4) 再生資源の売却益以外の収益（処理費、補助金等）が得られる
- (5) その他
 - ・ 各種許認可取得の目途
 - ・ 事業開始及び運営資金の目途（融資の目途等）
 - ・ 健全な競争が可能となる市場の存在（残存者利益を目的に、利益を度外視し市場シェアを重視した行動を取る企業がない等）

の 5 つのポイントが重要となる。

その上で、毎年の経営において(3)及び(4)による収益が(1)及び(2)に係る費用を上回ること
で利潤を得ることができ、その利潤により初期投資を適当な年数で回収できることが必要

となる。

日系静脈企業がアジア新興国の市場に参入する場合にも、進出先において同様の条件を満たせるか否かの判断が必要となる。裏返せば、この条件を満たすための 5 つのポイントが進出可能性を考える際の条件と言える。

4.1.2 事例分析：中国市場への進出可能性

本研究では複数の中国現地企業及び中国への進出・撤退を経験した、あるいは進出の検討をしている日本企業よりヒアリングを行った。前述の 5 つのポイント毎に現場の状況を整理すると以下ようになる。

(1) 静脈資源の収集

静脈資源を集めることは、日系企業のみならず中国企業においても困難な課題である。

3.1.1、3.1.3、3.2.3 など整理、分析したように、その主な理由として以下の 6 つが挙げられる。

- ① リサイクル法制度の整備が遅れている（リサイクル法制度としては家電、自動車しかない：ハードローの問題）
- ② 歴史的な経緯や所掌の縦割りなどから、資源回収に関する政府部門や関連団体が複数存在し、資源回収が複雑化するだけでなく、資源回収の発展が妨げられている（権限争いにより家電リサイクル法の対象品目を追加が容易ではないなど法制度の空白化や重複を誘発する、以旧換新から家電リサイクルへと制度が変わることで担当官庁も変わり執行も変化する：ハードロー及びガバナンスの問題）
- ③ 法制度があっても執行が不十分である（自動車リサイクル法制度はあるが、無許可の自動車解体業者が多数存在する：ガバナンスの問題）
- ④ 静脈資源の発生地或いは集散地と離れた場所に、処理施設を設置するケースがある。（静脈物流に対する理解の低さ、地域振興など他の政策目的の優先による立地：ガバナンスの問題）
- ⑤ 静脈資源の回収に対する市民・企業の意識が低い（インフォーマルセクターであっても門戸回収を行ったり、買取価格が高い業者へ売却したりする：ソフトローの問題）
- ⑥ 回収業者が資源価値のない静脈資源を処理業者へ引き渡す（基板、触媒の中抜き：ソフトローの問題）

これらの理由により、結果的に静脈資源の回収ルートが整備されず、農民や個人などによるインフォーマルセクターによる回収が主となっている。

このような状況を改善するため、3.2.2 でも述べたように一部の大手中国企業では次のような2つの取組を進めつつある。

① インフォーマルセクターを自社の資源回収ルートに取り込む例

(i)中国再生は河北省唐山市玉田では従来インフォーマルセクターとして資源回収を行っていた近隣の農民らに研修を行い、回収した資源を整備された自社工場へ持ち込ませようとしている。(ii)四川省内江市東興区の牛棚子地区では「四川西南再生資源産業園區」を整備し、中国再生が自社工場を置くとともに、従来から同地区に存在した小規模事業者を園區へ移転させている。(iii)安徽省界首市でもインフォーマルセクターを取り込みフォーマル化させる取組が行われている。(iv)e-waste の違法処理による汚染で有名な広東省汕頭市貴嶼鎮でも大手家電企業である TCL が資源再生工場を整備しており、一步一步ではあるが改善の方向に進んでいる。

② 地元政府・販売ルート（家電販売店、供銷合作社など）の協力も得て自社による回収ルートを整備する例

格林美は湖北省において省政府との協定により独占的な廃プリント版回収、同省唯一の国有自動車解体業者からの廃自動車回収、市内における一般向け回収拠点の整備などを行っている。なお、習近平主席が2013年7月に湖北省武漢市の同社工場を視察したほか、多くの党幹部や政府機関の高官が同社を視察しており、同社の活動は中央政府の支持も得ていることが推測される。

他方、近年の中国の経済的發展によりインフォーマルセクターにおいてもより収益を上げるために、フォーマル化を志向する動きが見られる。例えば、河北省唐山玉田市では、インフォーマルセクターであった農民がスペインに廃プラ輸出の企業を設立しているという。また、政府機関においても都市鉱山モデル基地の批准、法制度の整備などを進めている。一定の時間は要すると考えられるが、フォーマルな資源回収のための環境が整備されていくものと予想される。

しかし、日系静脈企業においては大手中国企業のようにインフォーマルセクターを取り込んだり、自社で回収ルートを整備したりすること（加えて中央・地方の政府高官の支持を得ること）は容易ではない。静脈企業に限らず中国に進出経験のある日系企業からは、地元政府との関係構築の困難さ、企業誘致に積極的であったハイレベルの人事異動、中国の協力企業（合弁先など）の実力不足、日中の外交関係の不安定化などが事業に影響を与えることが指摘されている。日系静脈企業にとって静脈資源の安定的な回収は中国企業以上に容易でないことが判明している。

(2) 再生資源化の技術

再生資源化の技術については、中国企業においても欧米などから最新の設備・装置を購入しており、また一部の設備・装置では中国企業の技術力も向上していることから、ハードに関しては日系静脈企業との技術差は大きくない。また、中国企業では中国の国情に適したコストパフォーマンスに優れた設備装置（日系企業はオーバースペックになることがある）や日本よりは安い人件費を背景とした労働集約型の作業工程などを導入することで、中国国内においては日本企業以上の競争力を有している事例も多い。

この点は3.1.4において、廃蛍光灯リサイクルの事業化を例に現在の中国市場で日本の技術を導入することは経済面などの理由から難しいこと、この場合、集荷が見込め、一定規模以上で事業化できる廃棄物と組み合わせた複合的リサイクルビジネスを検討する必要性があることを確認した。

また、再生資源化の効率性、環境保全対策など総合的システムという点では日系静脈企業に一日の長が認められる。同じく3.1.4において、現地技術を導入することにより日系静脈企業の競争力強化につながる可能性も確認した。

(3) 再生資源の売却

再生資源の売却先については、一般に日中企業間で大きな差が見受けられることはない。ただし、日本国内では再資源化処理により資源価値がある（有価となる）静脈資源（例えば破碎・焼却した金属など）であっても、中国国内では資源価値が認められないケースがある。これらの静脈資源が日本に輸出できれば、日系企業の収益改善につながるが中国及び日本双方の制度が障壁となり実現できない状況がある。

また、3.1.3 で述べたように、自動車リサイクルにおいては、部品のリユース（再使用）が限られたモデル企業のみ認められており、中国企業に対し日系企業が不利な状況を余儀なくされる事例も見受けられる。

(4) 再生資源の売却以外の収益

中国においては多くの静脈資源が有価となっており、日中双方の企業とも逆有償の形で廃棄物処理費を得ることは困難である。ただし、家電四品目（テレビ、冷蔵庫、洗濯機、エアコン）及びパソコンについては中国の家電リサイクル法の対象であることから、再生資源業者に処理数に応じた補助金が四半期ごとに支給される。この補助金については政府による査察結果などにより減額されることがあり、運用によっては不利益を被る企業が発生する可能性も存在する。

(5) その他

静脈資源の収集と並んで日中企業での差が大きいのが、内外企業に対する待遇の格差と考えられる。

- ① 許認可取得には中国企業や地元政府の協力が欠かせない。ただし、許認可取得のために高額なリベートを要求されるケースなどもある。
- ② 大手中国企業では事業の初期投資や運営資金について銀行融資や政府の各種補助などを受けられる例が見られる。例えば、2011年に深圳格林美は中国建設銀行と20億元（約400億円）、荊門格林美は国家開発銀行・中国銀行と少なくとも40億元（約800億円）の融資を今後3年間支持してもらうという覚書を締結した。
- ③ 中国では企業のみならず産業園區も乱立しており、過剰な競争が行われている。企業においては利益を度外視し、市場シェア或いは売上高を重視しているようにも見られる⁴⁸。また、成熟した商慣行が欠如しており、リベートや契約後の値引き（事後値引き）などが横行している。さらに、大手中国企業のキャッシュフローは不透明な点があり、収益が上がっているとは思えない企業においても日系静脈企業とは比較できないほど大規模の投資を行っている。

(6) 今後の中国静脈産業市場と日系静脈企業の対応

今後の中国静脈産業市場は大企業への集約化がより一層進み、独占的な市場へと進むか、社会経済改革が進み、公平な競争が可能となる市場へと進むか2つの方向性を抱えている。

後者の方向に進んだ場合は、透明性のある静脈資源の回収が行われ、資源再生による収益などでの競争となることから、日系静脈企業にもビジネスの機会が存在する。しかし、現在の中国は前者の方向に進んでいるように見受けられる。このような独占的な市場では、日系静脈企業には静脈資源の回収が容易ではなく、許認可取得や優遇措置で不利な立場にあり、高コスト構造の日系静脈企業が中国企業と競える余地は殆どない。

これに対応する一つの方法として、日系企業及び外資系企業を顧客とするニッチな市場で活動することも考えられるが、この場合、市場における価格交渉力が静脈資源を排出する動脈企業に偏り、動脈企業の進出に付随して現地へ進出しても数年で採算が悪化するといったリスクを抱えることになる。中国企業との取引も可能となるよう、並行して現地人員の採用や技術のスペックダウンなどによりコスト低減の努力も必要と考えられる。

もう一つの方法は中国の有力企業と合弁企業の設立など協力関係を構築し、日本の効率性の高い資源回収・資源化システムなどを導入することで同企業の収益率を改善していく、さらには企業上場などによるキャピタルゲインを得ることなどが考えられる。この際、日本側が資本構成でマイノリティとなることで、中国企業として認められれば許認可取得、優遇措置などの面でも不利益を講じる可能性が低下するであろう。

⁴⁸ 中国静脈産業関係者からのヒアリングによれば中国の静脈企業の利益率は10年程前までは10%程度あったが、近年は赤字企業も多く、良くて3-5%で、撤退する企業も発生しているという。

総じて、透明性のある日本市場で活動をしている日系静脈企業にとっては、中国の静脈産業市場は現段階では健全な競争が可能となる市場とは言い難い。先に述べたような短期的な対応を取りつつ、次節で述べる提言策の実施により日本及び中国における更なる制度及び市場の改革が必要であろう。

4.2 政策提言

4.2.1 日本

日本については、他の東アジア諸国に比べて、ハードロー、ガバナンス、ソフトローいずれも相対的に整備が進んでいることから、その経験やノウハウを伝えて周辺国のレジーム形成促進に協力できる立場にある。例えばタイは、廃棄物管理やリサイクル規制に特化した法律は未だ制定されておらず、ハードロー、ガバナンスにおいて政策的には未整備に近い状態にあることから、日本としては法整備支援、人材育成、教育啓蒙活動などを通じて協力の余地が大きい。また、本研究の調査結果からは、資源循環レジームの整備が比較的進んでいる日本といえども、なお東アジアの隣国から学ぶべき点があることが指摘できる。日本では、補助金などによりリサイクル実施に対する経済的支援を行う制度や、再生資源の規格標準などによって再生資源の信頼性を担保する制度は多く見られない。つまり、環境重視型手法の効用を増大させるようなハードローは今のところ未整備である。この点、中国では、家電廃棄物リサイクルに見られるとおり、補助金による経済的支援によって環境重視型リサイクルの効用を増大させる政策手法が主として用いられており、日本としても政策的に参考にできよう。

また、数十億規模の資本金や優遇的な融資が受けられる中国の静脈企業に比較して日本の静脈企業は資金、人員の面で規模が小さい。このため、新興国へ展開を行うには基礎的な体力面で不安がある。国内市場を主としていた日本の静脈産業政策は、廃棄物処理法による厳格な規制行政により廃棄物の適正処理を行う優良事業者を育成してきた。また、厳格な環境保全の観点から、一般廃棄物と産業廃棄物の区分、さらに排出段階での細かい分別を行ってきた。反面、このような規制は小規模な事業者を保護し、大量の資源を回収する規模の経済性を働かせないことにより、日本の静脈企業を大規模化させてこなかった。

金融危機後、国内市場は一段と縮小している。加えて3.2.4で述べたように、物流コストなど幾つかの条件によって、日本国内の静脈資源の海外流出が加速することも考えられる。

本研究のテーマである日系静脈産業の新興国展開を進めるのであれば、日本国内の静脈資源を広域的に回収し、効率性の高いリサイクルが可能な企業を育成するため企業の合併やそのための制度の見直しなどを推進する必要もあろう。また、日本の高い技術が生かせ

るなど一定の条件を満たす静脈資源については、日本への輸入を容易にするような規制緩和も検討すべきである⁴⁹。

さらに、アジア新興国でのビジネスにおいては、許認可の取得や商慣行の問題などの障壁も多く、これらの課題を一企業で解決することは難しい。従来の ODA による環境協力は対象国の経済力のみで実施の可否を判断しているが、日本の企業、国民が多く進出、生活している国に対してはビジネス支援、邦人の健康保護という観点でも環境協力を実施していくことが望まれる。

4.2.2 中国

中国については、リサイクル関連法（ハードロー）の制定が近年進んでおり、補助金と指定業者制度の活用などによって環境重視型リサイクルの効用を向上させる政策も採用している点は注目に値する。しかし、拡大生産者責任の不完全な導入に見られるとおり、環境破壊や健康被害に配慮しない経済活動の費用を増大させるような形でのハードローの導入は進んでいない。また、ハードローを適切に機能させるためのガバナンスやソフトローの面でも改善の余地が大きい。日本としては、やはり人材育成や教育啓蒙活動などを通じて、中国資源循環レジームのガバナンスやソフトローの強化に協力すべきだろう。

また、日本における循環型社会の構築においては、法規制等により環境保全上の措置を講じた循環をさせること、市場メカニズムでは循環しない資源を人為的に循環させることの 2 つを行った。中国においても今後、環境汚染性は高いが資源価値の低いものはリサイクルが進まず、一定の環境負荷を生じさせることが予想される（水銀を含む蛍光灯や電池、化学薬品や農薬など）。また環境汚染性はさして高くないが資源価値の低い都市廃棄物（厨房ごみ、容器包装など）は中国経済の底上げにより有価では回らなくなる可能性があり、これらは大量に焼却処分へ進むことが予想される。しかし、中国において日本と同様に法規制等により静脈資源を循環させても、環境対策を講じない安価なインフォーマルセクターへ静脈資源が回るか、廃棄物として処理される可能性が高いであろう。国民・企業・政府等がこのような静脈資源の循環により発生する社会コストをいかに削減し、分担するか、また中長期的にはコスト低減のために資源回収量の増加、再生利用技術の開発等を進めることが必要であり、このような点で日本も協力を考えることができよう。

なお、日中間の政治的関係は度々緊張状態となり、このことが環境や経済分野における交流にも大きな影響を及ぼす。このため企業、学者、学生や NGO などのトラック 2（民間）

⁴⁹ 以上については、本研究の成果でもある細田衛士 (2015) 『資源の循環利用とは何か?』, 岩波書店. に詳しい。

や日中の地方政府間など多元的な交流ルートを確保することも重要である。

4.2.3 タイ

タイについては、今のところ廃棄物管理・リサイクルに関するハードローは未整備の状況にあることから、日本や中国など動脈経済部門での結び付きが強い国の協力を得て、拡大生産者責任などに基づく経済利益重視型手法の費用増大、あるいは補助金などによる環境重視型手法の効用増大を企図したハードローの整備を進めていく必要があるだろう。また、中国と同様、環境保護よりも経済発展が優先されがちな状況にあるタイに対しては、特に日本などが中心になって、ガバナンスやソフトローの強化を目指した人材育成や教育啓蒙活動などの協力が望まれる。

また、キャッシュフローが潤沢な中国と異なりタイにおいてはハード面の整備の遅れも見られる。パッケージ型インフラ海外展開支援として、JCM（二国間クレジット制度）の活用も考慮しつつ、動脈及び静脈が一体化した工業園區の整備などを支援することも考えられる。

4.2.4 まとめ

本研究により、日系静脈企業の新興国展開のためには内（日本）及び外（新興国）の両方に課題があることが明らかとなった。

日本の静脈産業の発展の背景には、一定の市場規模が存在したこと、ハードロー、ソフトロー、ガバナンスの三位一体による制度的インフラストラクチャーが存在したことがある。新興国においては今後の市場規模が拡大していく潜在性はあるものの、制度的インフラストラクチャーの整備は遅れている。新興国に対してハードロー、ソフトロー、ガバナンスのいずれが不足しているかを見極め、環境協力による改善及び各国の自助努力を求めていくことが重要である。

また日本の静脈産業政策についても見直しの時期に来ている。日本の静脈資源の回収量が今後、大幅に増加していくことは望めない。また、外国資本の静脈企業が日本へ進出してくる事例も確認されている。既存の静脈企業をすべて守るのか、新興国展開が可能となる規模の静脈企業に集約化していくのか方針を選択し、その方針に基づき静脈産業に関する制度の見直しを行うことも必要であろう。

5. 研究発表

（ア）論文発表

<論文（査読あり）>

- 1) Eiji. B Hosoda (2012) “Recycling of Waste and Downgrading of Secondary Resources in a Classical Type of Production Model” *Journal of Economic Structures*, 1: 7, (DOI 10.1186/2193-2409-1-7).
- 2) Takashi Sekiyama (2013) “A Paradox in China’s Environmental Management: An argument from a comparative study on waste recycling policies between China and Japan,” *Chinese Business Review*, Vol. 12, No. 6, David Publishing, USA.
- 3) Eiji. B Hosoda (2014) "An Analysis of Sorting and Recycling of Household Waste: A Neo-Ricardian Approach" *Metroeconomica*, Vol. 65, No. 1, pp. 58-94, (DOI: 10.1111/meca.12029) .
- 4) Daisuke Ichinose, Eiji. B Hosoda (2014) “Double asymmetry of information in a waste treatment contract”, *Handbook on Waste Management* (edited by Thomas Kinnaman and K. Takeuchi), pp. 394-415, Edward Elgar.
- 5) Chen, T.T., T. Honda, E. Hosoda and K. Hayase (2014) “The Relationship between Environmental Management and Economic Performance: A New Model with Accumulated Earnings Ratio”, *Journal of Human Resources and Sustainable Studies*, **2**, 59-69. <http://dx.doi.org/10.4236/jhrss.2014.22006>
- 6) Ichinose, D., Yamamoto, M. and Y. Yoshida (2014) "The Decoupling of Affluence and Waste Discharge under Spatial Correlation: Do Richer Communities Discharge More Waste?, " *Environment and Development Economics*, Cambridge University Press, forthcoming.
- 7) Jun NAKATANI (2014) “Life-Cycle Inventory Analysis of Recycling: Mathematical and Graphical Frameworks, “*Sustainability* 6 (9), pp 6158-6169

<論文（査読なし：新聞・雑誌・ジャーナル等含む）>

- 1) 細田衛士・染野憲治(2012)「広がる中国の資源循環ビジネス」日本経済新聞『経済教室』5月2日朝刊
- 2) 染野憲治(2012)「中国の環境保全対策ー日本との比較」環境コミュニケーションズ『資源環境対策』5月号, Vol.48, No.5.
- 3) 染野憲治(2012)「高まる環境リスクを避けるには」東洋経済新報社『週刊東洋経済』9月29日号
- 4) 細田衛士(2012)「コモンズ管理的視点からの資源循環制御」日立環境財団『環境研究』No.168, pp.61-69.
- 5) 山本雅資(2013)「廃棄物政策をめぐる課題ー東アジア「共生」に向けてー」梧桐書院『交響するアジア』第1巻,第5章, pp.82-97.

- 6) 染野憲治(2013)「PM2.5 から見える中国の転換点」(一財)霞山会『東亜』No.553, pp8-18.
- 7) 山本雅資(2013)「輸出ごみ一見えぬ処理」『読売新聞』(富山版), 2013年7月13日
- 8) 細田衛士(2014)「国際資源循環の課題と展望ー東アジア圏域を中心にー」安全工学会『安全工学』Vol. 53, No. 1, pp. 27-34.
- 9) 細田衛士 (2014)「レアメタル等の金属資源の循環利用における制度的課題と政策展望ー都市鉱山の有効利用の可能性」(一社)環境情報科学センター『環境情報科学』43巻4号、pp.19-24.
- 10) 細田衛士・染野憲治 (2014)「中国静脈ビジネスの新しい展開」北海道大学大学院経済学研究科『経済学研究』Vol.63, No.2, pp13-27
- 11) 染野憲治 (2014)「動脈と静脈が織り成す中国内陸経済の変化」(公財)東京財団『Views on China』No.2, pp79-88
- 12) 染野憲治 (2014)「中国の環境規制の動向と日本の進路」(一財)日中経済協会『日中経協ジャーナル』No.251, pp18-21
- 13) 染野憲治 (2014)「中国の静脈産業と循環経済政策」信山社『環境法研究』第2号, pp93-115
- 14) 斉藤崇・澤田英司・佐藤一光 (2015)「資源循環政策としての家電リサイクルシステム」『環境経済・政策研究』第8巻,第1号,印刷中.
- 15) 斉藤崇 (2015)「アジアにおける国際資源循環と拡大生産者責任」馬田啓一・小野田欣也・西孝 編著『国際関係の論点』文眞堂,第15章 (pp.173-183).
- 16) 山本雅資 (2015)「リサイクルの制度設計における静脈物流の重要性」『環境経済政策研究』第8巻1号,印刷中

<出版物>

- 1) 細田衛士(2015)「資源の循環利用とはなにかーバズをグズに変える新しい経済システム」岩波書店
- 2) Eiji. B Hosoda, etc (2015) “Economics of Waste Management in East Asia” Routledge, forthcoming.
- 3) 中国物資再生協会・東京財団 (2015)「中日再生資源産業発展戦略研究」中国標準出版社, 中文, forthcoming. ((注) 同書の日本版出版も検討中)

(イ)学会等発表

- 1) Daisuke Ichinose, Takashi Sekiyama, Masashi Yamamoto, Jun Nakatani, Takashi Saito, Kenji Someno, Guo Peikun, Kazuaki Sato, Eiji B.Hosoda, 10th Biennial Pacific Rim Conference / Western Economic Association International(WEAI), Tokyo, Japan, 2013, “Waste and

Recycling Policy in East Asia”

- 2) 佐藤一光 (2013) 「中国の家電リサイクル政策の変遷」, 日本地方財政学会, 専修大学
- 3) 一ノ瀬大輔 (2013) 「環境政策に対する評価の規定要因 日本の一般廃棄物処理政策を例に」, 環境経済・政策学会, 神戸大学
- 4) 細田衛士, 一ノ瀬大輔, 澤田英司, 哈布爾, 中谷隼, 森口祐一, 斉藤崇, 染野憲治, 佐藤一光 (2013) 企画セッション「静脈産業の新興国開発に向けたリサイクルシステムの開発とその普及に関わる総合的研究」, 環境経済・政策学会, 神戸大学
- 5) 山本雅資 (2013) “The effect of cost fluctuation on waste trade and recycling in East Asia”, 北東アジア学会, 島根県立大学
- 6) 立福輝生 (JFE 環境) (2013) 「中国における蛍光灯リサイクル調査について」, 第 24 回廃棄物資源循環学会研究発表会, 北海道大学
- 7) Eiji B. Hosoda, Jun Nakatani, Eiji Sawada, The 13th Northeast Asian Academic Network (NAAN) , August 23th, 2014, 富山大学
- 8) 細田衛士, 関山健, 澤田英司, 中谷隼, 哈布爾, 横井峻佑, 森口祐一, 寺園淳, 染野憲治, 常杣 (2014) 企画セッション「静脈産業の新興国開発に向けたリサイクルシステムの開発とその普及に関わる総合的研究」, 環境経済・政策学会, 法政大学
- 9) 立福輝生 (JFE 環境) (2014) 「中国における蛍光灯リサイクル調査について (その 2)」, 第 25 回廃棄物資源循環学会研究発表会, 広島工業大学
- 10) Eiji Sawada, The 12th Northeast Asia Management and Economics Joint Conference 「Economic Growth and Environmental Sustainability in China: Heterogeneity, Uncertainty and Competition among Local Governments」, 2014, 南京審計学院
- 11) Eiji Sawada, Eiji B. Hosoda, Takashi Sekiyama, Kazuaki Sato, Takashi Saito, 11th International Conference / Western Economic Association International (WEAI), Tongarewa , New Zealand, 2015, “Waste and Recycling Policy in East Asia”
- 12) Eiji Hosoda, Eiji Sawada, Takashi, Sekiyama and Masashi Yamamoto "Collaborative Workshop on 3R and E-Waste Management", February 3rd, 2015, Bangkok, Thailand.

(ウ) 「国民との科学・技術対話」の実施

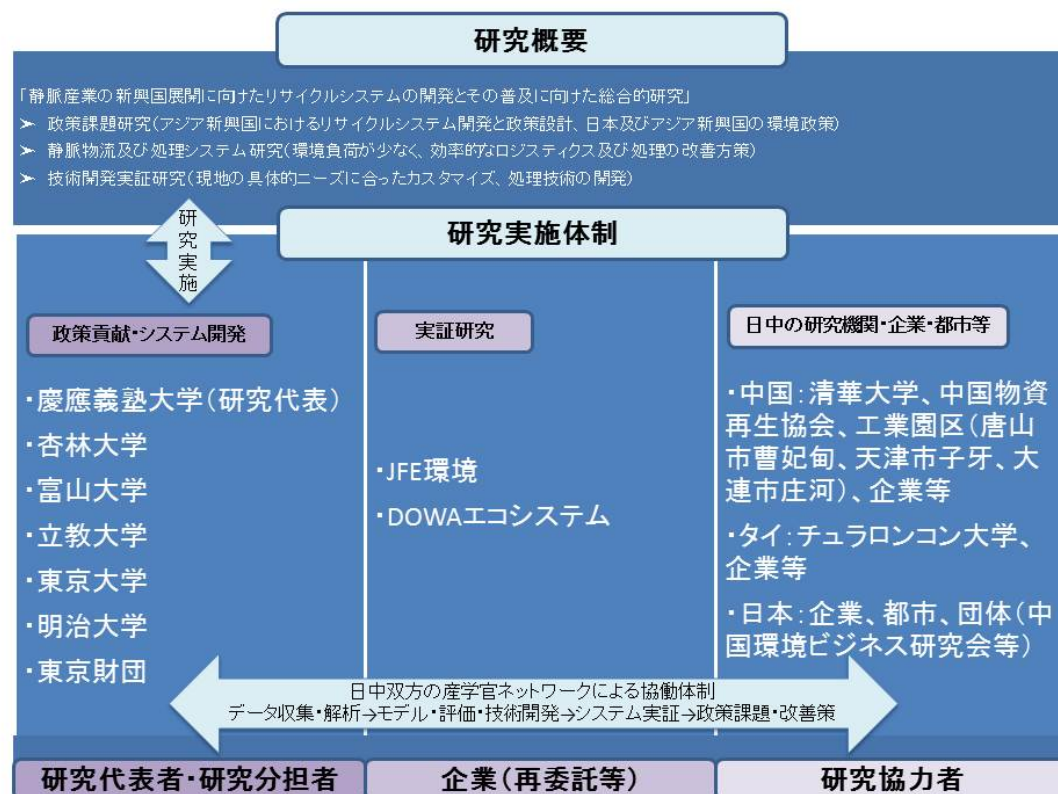
- 1) 「中日循環型経済交流会」(主催: 齐鲁工业大学、共催: 深圳証券取引所、野村証券、2014 年 4 月 12 日、齐鲁工业大学齐南キャンパス (中国山東省済南市)、観客約 200 名 (日本及び中国の企業、政府機関、学生、研究者等)) にて講演 (細田衛士)
- 2) 「2014 中国再生資源産業会議」(主催: 中国再生資源回收利用協会、2014 年 6 月 19 日、湖北荊門格林美都市鉱山モデル基地 (中国湖北省荊門市)、観客約 600 名 (中国

の企業 420 社、政府機関、研究者等)) にて講演 (染野憲治)

- 3) 第 91 回東京財団フォーラム「中国の環境問題～環境ビジネスの現場から考える」(主催: (公財) 東京財団、2015 年 3 月 23 日、日本財団ビル 2F 会議室 (東京都港区)、観客約 180 名 (日本及び中国の企業、政府機関、研究者、メディア等)) にて講演、成果紹介 (細田衛士、染野憲治、劉強)
- 4) 第 83 回 CRCC 研究会「中国の環境問題～現状と課題」(主催: 科学技術振興機構 (JST) 中国総合研究交流センター、2015 年 4 月 9 日、JST 東京本部別館 1F ホール (東京都千代田区)、観客約 130 名 (3 月末の登録数) にて講演、成果紹介 (染野憲治)

6. 知的財産兼の取得状況
特に記載すべき事項はない

研究概要図



英文概要

Comprehensive Studies on Development and Expansion of a Recycling-System for a Purpose of Cultivating Venous Industries in Developing Countries

Principal Investigator: Eiji Hosoda

Institution: Keio University, (2-15-45, Mita, Minato-ku, Tokyo, 108-8345)

E-mail: hosoda@econ.keio.ac.jp

Other Research Members:

Daisuke Ichinose (Rikkyo University), Jun Nakatani (University of Tokyo),

Takashi Saito (Kyorin University), Takashi Sekiyama (Meiji University),

Kenji Someno (The Tokyo Foundation), Masashi Yamamoto (University of Toyama),

Kazumitsu Sato (Keio University), Eiji Sawada (Keio University),

JFE Engineering, DOWA Eco-systems,

Abstract

This research aims to evaluate a possible business opportunity by Japanese waste and recycling firms in emerging countries, such as China. Economic growth leads to a surge of waste generation and often results in increase of inappropriate treatment like illegal dumping. Japan also experienced such increase of waste during its high economic performance in 1970s and 80s, and overcame it through technological and institutional progress. This experience will be of great help to emerging countries who are currently suffering from the increase of waste and its inappropriate treatment.

To evaluate business opportunities for Japanese waste and recycling industry, we examine (1) the current situation of waste and recycling policy in China and Thailand, as examples of the emerging market, (2) relevant theoretical background, and (3) business feasibility studies for recycling of fluorescent light and home appliance (washing machine, etc.) in China.

In the first section of policy review, we found that each of the emerging country has not been ready for massive consumption and recycling in terms of related policy making in different way. In China, the law for recycling home appliance and the law for recycling the end-of-life vehicle has been in effect since early 2000. However, the real implementation of the law for recycling home appliance was postponed until very recently and its paper work was so inefficient that the payment of the subsidy was delayed for a long time. This type of policy instability makes the recycling

business very difficult. As for ELV recycling law, the situation is even worse in that the law implementation process has been stopped for a long time and none of the details has not been decided yet. It is very important to understand that not only making a law (hard law) but also establishing the environment (or atmosphere) to follow the law through a soft law is required to develop proper recycling system.

Next, we analyze the waste and recycling policy from the theoretical point of view. Since we understand, from the previous section, that the role of hard law is important but it has limitation, we first focus upon the relationship between formal and informal sector in waste and recycling business. Using microeconomic model, we conclude the following. First, introducing a fine to informal recycling activity will help reducing the number of firms in informal sector but not necessarily makes it zero. Secondly, policy which tries to makes informal sector shift formal one might not increase social welfare under a certain condition. These results are conditional on cost of being a firm in formal sector.

Second theoretical consideration is about an economic analysis on the collection of waste and location of recycling plants. To construct sustainable recycling network, it is inevitable to keep collecting recyclables for a certain amount. Building such a network is highly related to the problem of where to make a recycling firm. In this analysis, we reveal that a recycling firm must be located close to the market if a recycling rate is higher. It also concludes that some combination of tax will shoot the socially optimal level of pollution, one of which include no tax on the transportation between a recycling firm and the market recycled material.

Another theoretical consideration is to know the importance of waste collection network when it comes to an informal sector. Given a firm in an informal sector has smaller marginal cost (because of less environmental awareness), the market competition results in larger market share for an informal firm when the difference is larger while the market share move towards the same (regardless of the marginal cost difference) when the transportation cost is sufficiently high.

There are three engineering studies to analyze the issues from quantitative point of view. Firstly, evaluating the future end-of-life household appliances is conducted to understand the time-series material flow and its impact on environment. As a conclusion, we think that CRT is critical in terms of environmental damage. We need to prepare for proper CRT recycling process in the emerging countries before its peak is coming, which is 2020-30 in China. Other two engineering studies show that it is very difficult for a Japanese firm to enter into a recycling business under the current projection of wage level and prospect number of collection of recyclables.

Summing up all the discussion we have in this research, there is a lack of social infrastructure,

such as hard-law, soft-law and company governance in emerging markets. These elements are big obstacles for Japanese firms to enter the market. From Chinese Perspective, the Japanese recycling firms are too small compared to Chinese one. It is now time to reconsider whether protecting (relatively small) all the firms in waste and recycling industry should be protected.