

廃家電製品に関する静脈物流の実態把握と効率化に関する研究*

Investigation of reverse distribution of used electrical appliances and its efficiency improvement*

宇田涼子**・塚口博司***・李 燕****

By Ryoko Uda, Hiroshi Tsukaguchi and Yan Li

1. はじめに

地球温暖化、資源枯渇、埋立て処分場の確保の困難性など様々な制約を受けて、今日の社会は、大量生産・大量消費の使い捨て社会から、リサイクル重視の循環型社会への大きな転換期を迎えている。2001年4月、特定家庭用機器再商品化法（通称、家電リサイクル法）が施行された。このような状況の下、廃棄物の処理やそのリサイクルに関わる物流、すなわち静脈物流が一層重要となってきた。

家電製品の静脈物流に関しては、三好ら¹⁾は家電リサイクル法の概要をまとめるとともに、近距離輸送における貨物自動車の環境負荷の低減とコストパフォーマンスに優れた輸送路の検討が必要であると述べている。荒井ら²⁾は家電リサイクルを対象として、指定引取所の最適配置について論じている。

このように、静脈物流に関する研究は徐々に展開されつつあるが、廃家電製品の静脈物流実態を調べた調査は少なく、また経済産業省からの情報開示も限られたものとなっているから、静脈物流に関しては、その実態把握も充分ではないのが実情である。そこで、本研究は、廃家電製品の静脈物流に関する実態調査を実施し、これに基づいて、廃家電関連の静脈物流システムの改善について検討する。本研究では、人口が増加しており都市活動が活発な滋賀県を対象とした。

2. 循環型社会と静脈物流

(1) 静脈物流

静脈物流は一般的に、廃棄物の排出から中間処理、再資源化、および廃棄物やその残渣の最終処分に至るまでの収集・運搬、中継（積替え・保管）、積おろしなどの物流過程をいう。

廃棄物の輸送については、従来、少量・短距離の輸送に留まっていたが、循環型社会においてはリサイクルの対象品目が増加し、リサイクル拠点への輸送や、資源化された廃棄物の輸送需要が、大量かつ

広域的に発生すると予想される。そこで、資源の再利用や適正処分を目的とした技術開発のみならず、効率的な物流形態の構築が必要とされている。静脈物流コストを削減するためには、廃棄物を排出場所からリサイクルの場所まで効率よく、環境負荷を少なくして輸送することがますます重要となる。

(2) わが国における廃家電製品静脈物流システム

静脈物流の過程を家電リサイクル法における廃家電製品の流れとして示すと、消費者・小売業者（または自治体）指定引取場所・リサイクルプラント・資源加工業者・家電メーカーとなる。この中で、本論では、消費者・小売業者・指定引取場所・リサイクルプラントの輸送部分に着目する。これは、リサイクルプラントからメーカー工場への輸送品は分解された部品等であるのに対して、上記の部分は製品の形のままの輸送となり体積が大きくなり輸送の効率化が特に求められること、指定引取場所は運送会社のデポの一部を利用していることが多いから設置場所を適切に選択する余地があることなどによる。

本研究で対象とする廃家電の静脈物流の流れを示すと図1のようである。一般家庭から排出される家電製品の8割は小売店舗を通して指定引取場所に搬入され、約2割は市町村によって搬入されている。なお、家電メーカーは現在、AグループおよびBグループに区分されているため、各グループで別々の指定引取場所およびリサイクルプラントが整備されている。

3. 家電製品の利用状況

(1) 調査概要

廃家電製品排出量は全国ならびに各地域（各経済産業局ごと）の値は公表されているが、都道府県レベルの廃家電製品排出量は経済産業省の意向により非

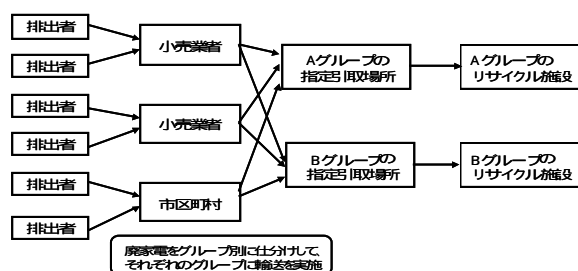


図1 家電リサイクルの流れ

*Key words：廃家電製品、静脈物流、指定引取所

**正会員、日本通運大阪支店

***フェロー会員、立命館大学理工学部

****正会員、立命館アジア太平洋大学アジア太平洋学部

公開となっている。また、各指定引取場所の取扱い数量も非公開である。このため、地域における廃家電製品の静脈物流の実態を行政の統計資料等から把握することは現時点では容易でない。そこで本研究では、家電製品の使用状況ならびに買換え・処分動向等を把握するために、消費者に対するアンケート調査を実施した。調査は滋賀県下の2000世帯に対して2003年10月に実施した(回収率は33.8%)。

(2) 家電製品の保有動向

本調査では、指定4品目である冷蔵庫、洗濯機、エアコン、テレビとともに、パソコン、ビデオ、ステレオ、電子レンジ、掃除機を含めた9品目について調べた。ほとんどの製品において、各家庭平均保有台数は1台であるが、エアコン、テレビは3.2台、掃除機は2.1台となっており、他の製品に比べて保有台数が多い。電化製品(指定4品目)の使用年数を調べると図2のようであり、10年以上が最も多く比較的長期間使用されていることがわかる。

各電化製品について、地域ごとに使用年数と廃棄率の関係を示すと図3のような関係が得られる(湖南地域における冷蔵庫の例)。そこで、家電製品の使用年数と廃棄率の関係を以下のロジスティック曲線を用いて表すことにした。パラメータを品目別・地域別に求めた。家電製品の使用年数は、製品の種類ならびに居住地域によって異なった傾向を示していた。また、使用年数と廃棄率の関係には、家族構成(世帯家族、世帯家族、世帯家族以上)および年齢構成(50歳代以上のみで構成された家族、40歳代以下で構成された家族、その他)といった世帯属性が影響していることも認められた。そこで、式(1)のパラメータはこれらの特性別に求めた(紙面の都合で本稿では割愛する)。

$$y = 1 / (1 + e^{-(a+bt)}) \text{ ----- (1)}$$

y : 年間家電製品廃棄率

t : 使用年数

(3) 家電製品の購入場所と処分状況

家電製品の購入場所は、大型量販店の割合が多く、次いで地元の電気店となっている。使用後の処分方法に関しては、大型ごみとして処分するケースは大幅に減少しており、電気店に引き取ってもらって処分する場合がほとんどである。なお、自治体への持込みはあまり見られない。

4. 廃家電製品の排出量推計

(1) 推計方法

アンケート調査結果を拡大して滋賀県全体の排出量を求めた。この場合、調査年である2003年以前

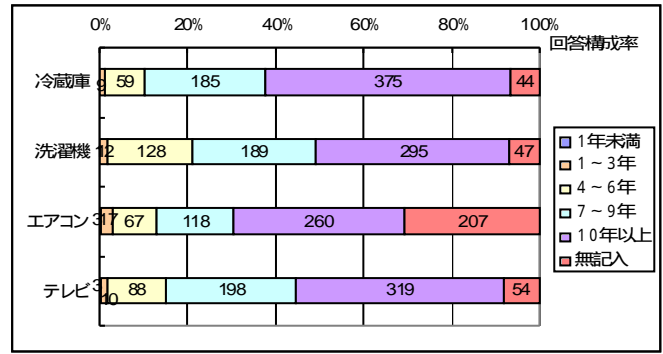


図2 指定4品目の使用年数

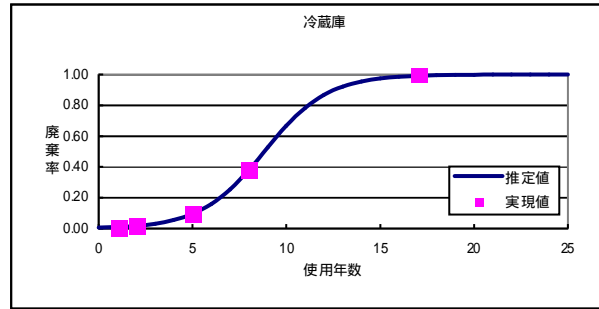


図3 使用年数別にみた廃棄率(湖南地域・冷蔵庫)

に購入された家電製品総数 D_1 と2003年以降に購入された家電製品総数 D_2 に区分して求めた。推定方法は以下に示すとおりである。

$$\begin{aligned}
 D_{td} &= D_1 + D_2 \\
 D_1 &= \sum_{i,j,T} (V_{ijtp} \times R_{ijT}) \\
 D_2 &= \sum_{i,j,T} (D_1 \times R_{ijT}) \\
 T &= t_d - t_p + 1
 \end{aligned} \text{ (2)}$$

ここで、

D_{td} : t_d 年の排出総量

D_1 : 2003年以前に購入された家電製品の廃棄台数

D_2 : 2004年以降に購入された家電製品の廃棄台数

T: 使用年数、 t_p : 購入年、 t_d : 廃棄年

V_{ijtp} : 地域 i, 家電製品 j の t_p 年における購入台数

R_{ijT} : 地域 i, 家電製品 j の使用年数別廃棄率

(3) 推計結果

図4には滋賀県における指定4品目の排出量推定結果を示してある。推計の前提として、買替えのみを考え、現在使用していない家電製品の新規購入は考慮していない。図4では、実排出量として近畿経済産業局発表におけるヒアリング結果に基づいた指定4品目排出量の概数値を用いた。両者を比較すると、本論の推計値は実排出値に比べて過大推計となっている。本推計では、アンケート結果から算出した滋賀県に存在すると思われる製品が、図1に示す流れですべて廃棄されるという前提で排出量の推定を行ったが、実際には家電製品リサイクル法に基づいて処理されていないものもあるからではないかと思われる。

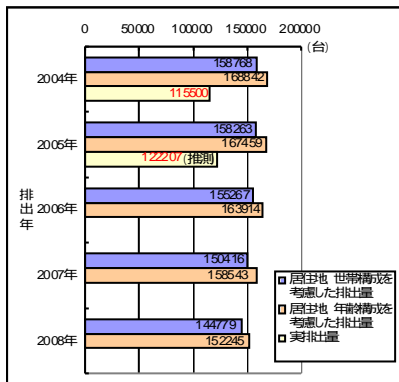


図4 廃荷電製品排出量の推計値と実績値

5. 廃家電製品のリサイクル関連施設の現状

(1) 調査概要

家電リサイクルに関わる施設の実態を把握するため、2003年10月に滋賀県下のすべての家電小売店舗を対象としたアンケート調査（558店舗、回収率23.7%）を行った。また、指定引取所ならびに家電製品リサイクルプラントにおける運営実績は、ほとんど公表されておらず、実態が明らかでない。そこで、指定引取場所の役目を担った運送会社デポ、家電製品リサイクルプラントならびに家電メーカーを対象としてヒアリング調査を実施した。ヒアリング調査は2005年に実施した。以下に概要を示す。

(2) 小売店舗における廃家電製品の回収・運搬状況

図5に示すように、回収台数は店舗規模が大きくなるに伴い増加しており、また廃家電製品の保管場所の容量にも同様の傾向が見られる。なお、廃家電製品は、指定4品目だけでなく、他の製品も回収されている。保管スペースは店舗敷地内もしくは敷地内の自社倉庫に設置されている。

指定4品目を指定引取場所へ持ち込む際の使用車両は、主として軽トラックを利用する小売店舗が約70%、大型トラックが約15%であった。指定引取所への1回あたりの家電製品量の搬入量を見ると、大規模小売店舗では、週に1度、20台以上の廃家電製品を大型トラックによって搬入している。また、大規模小売店舗以外の多くの店舗では、廃家電製品が10台程度溜まるごとに軽トラックを使って指定引取場所に搬入する傾向が見られた。

(3) 指定引取所への廃家電品搬入状況

指定引取場所でのヒアリング結果によると、大型量販店は運送業者に依頼するケースが多く、週に約1~2回の持ち込みがある。その際に4t車もしくは2t車が利用されており、4t車1台あたりの廃家電製品積載量はおよそ40台である。一方、小規模な家電小売店舗の場合には軽トラックで持ち込むことが多く定期的ではない。なお、軽トラック1台で10

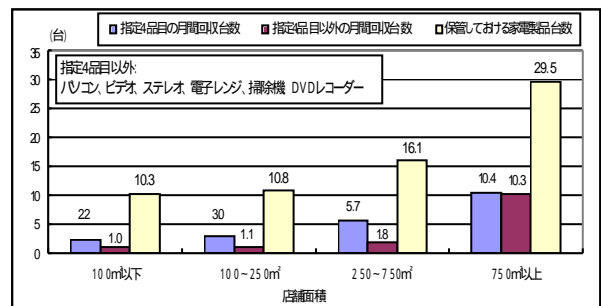


図5 店舗規模別にみた家電製品回収台数と保管可能台数 (台/月)

台程度の廃家電製品を積載できるが、実際は1、2台だけ積んで持ち込まれることも少なくない。

指定引取場所での廃家電製品取扱量は1月あたり3000台程度である。しかし、繁忙期になると、取扱量は3倍近くに増加するとのことであった。

(4) 指定引取所での保管とリサイクルプラントへの輸送

指定引取場所では、小売業者から引き取った廃家電製品が品目別に専用コンテナに積み込まれる。調査対象とした指定引取場所では、荷捌きスペースを含めて約50㎡の保管スペースがあり、ここは屋根がついており、遮蔽・施錠できる場所である。引き取った家電製品はチェックなどのために1、2日程度留め置き、リサイクルプラントへと運搬される。輸送する際は、10tトラックが使用されており、トラック1台につき、およそ100~150台の廃家電製品量を積載することができる。

6. 輸送費用を考慮した指定引取場所の配置計画

(1) 指定引取所選定の現状

指定引取場所は販売会社の倉庫、メーカーの倉庫、既存処理業者、運送業者デポ等から選定される。指定引取場所は、廃棄物処理法における積替保管の機能を持つ施設にあたるため、産業廃棄物保管基準に即した施設であることが第一条件となっており、構造等基準、保管量の上限、保管場所の高さなどの制限がある。さらに候補地を絞る要素として、周辺住民との調整、適切な倉庫・保管スペースの存在、小売店舗からの距離、指定引取場所での生産性の確保がある。特に、A、Bグループの製品の仕分け責任をもった小売業者の利便性を考慮すると、おのずと各グループの指定引取場所を隣接させることが必要となる。これらの諸条件をもとに、家電メーカーが全国の候補地を調査し、指定引取所が選定された。メーカーと指定引取場所は一定期間ごとに契約を交わすこととなっている。

(2) 家電リサイクルに関する経費

各家電メーカーは、料金回収機構の位置づけとし

て「家電リサイクル券センター」を設立している。廃家電製品を家電リサイクル券にて監視するとともに、消費者から徴収されるリサイクル料金の管理を請け負っている。各メーカーは契約している指定引取場所とリサイクルプラントに対して、収集された廃家電製品量に応じて料金を支払う。廃家電1台あたりの料金が双方（メーカー、指定引取場所間）で定められており、その料金は保管スペース、リフト使用、人件費等を含んでいる。それらは施設管理費として支払われる経費であり、輸送に係る費用は別の経費としてメーカー側が精算することになる。

(3) 家電リサイクル費用を最小とする指定引取所配置計画

小売店舗から指定引取場所への1次輸送、および指定引取場所からリサイクルプラントへの2次輸送に係る「輸送コスト」ならびに各施設で要する「管理コスト」の2つを考え、中継ノードとなっている指定引取場所をいくつ、どの地点に設置すれば、これらの費用を最小化できるかを考えることとする。

以下に輸送コストと管理コストの和で表した総コストの最小化問題を定式化する。

$$\text{Minimize } TC = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_1 l_{ij} X_{ij} + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p a_2 l_{jk} Y_{jk} + \sum_{j=1}^n d_j R_j + \sum_{k=1}^p d_k R_k \quad (3)$$

$$X_{ij} = \frac{d_i}{C_{ij}} \quad Y_{jk} = \frac{d_j}{C_{jk}} \quad d_i \neq 0 \quad \text{ならば} \quad X_{ij} > 0$$

$$\sum_{j=1}^n d_i = \sum_{j=1}^n d_j = \sum_{k=1}^p d_k \quad d_j \neq 0 \quad \text{ならば} \quad Y_{jk} > 0$$

ここで、

TC：年間総費用(円)、i：発生ノード(各家電小売店舗,m箇所)、j：中継ノード(指定引き取り場所,n箇所)、k：最終ノード(リサイクルプラント,p箇所)、 l_{ij} ：ij間の輸送距離(km)、 l_{jk} ：jk間の輸送距離(km)、 a_1 ：一次輸送(i-j)の走行経費(円/台 km)、 a_2 ：二次輸送(j-k)の走行経費(円/台 km)、 X_{ij} ：ij間のトラック走行台数(台)、 Y_{jk} ：jk間のトラック走行台数(台)、 d_i ：iにおける廃家電排出量(台/年)、 d_j ：jに搬入された廃家電製品量(台)、 d_k ：kに搬入された廃家電製品量(台)、 R_j ：jにおける廃家電製品1台当たりの引取り金額(円)、 R_k ：kにおける廃家電製品1台当たりの引取り金額(円)、 C_{ij} ：ij間に使用するトラックの廃家電製品最大積載量(台)、 C_{jk} ：jk間に使用するトラックの廃家電製品最大積載量(台)

上式で必要となる諸数値は、前章で述べた調査に基づいて設定した。

(4) 条件設定

1) 対象家電製品は、指定4品目、ならびに指定4品目にパソコン・ビデオ・ステレオ・電子レンジ・掃除機を加えた9品目を対象とする。

2) 廃家電製品の発生ノードは各家電小売店舗とす

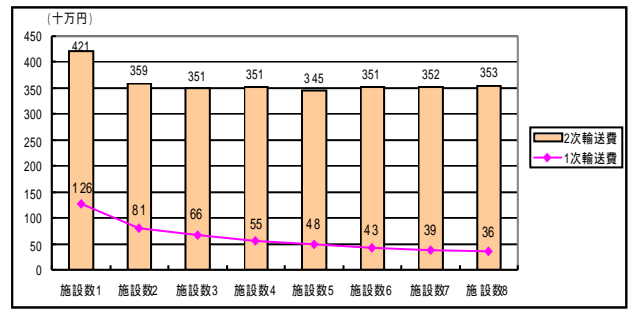


図6 施設数に応じた最適配置での1,2次輸送費

る。滋賀県下の家電製品小売店舗558店舗を道路ネットワーク上で最も近いノードで表す。

3) 滋賀県には6カ所の指定引取場所を含む34カ所の主要な運送業者のデポが存在しているので、これらを指定引取場所候補地とし、これらを道路ネットワーク上の最も近いノードで表す。

4) 最終ノードであるリサイクルプラントは、滋賀県外に位置しているため、各リサイクルプラントへの輸送ルートを検討して3カ所のダミー地点を県境に設定する(リサイクルプラントへの距離はダミー地点からリサイクルプラントまでの距離を加算)。

5) 家電メーカーのグループ制は考えないものとする。

6) 有料道路は使用しないものとする。

(4) 適切な設置数と施設位置

本稿では式(3)を直接解かず、可能性の高い案を中心に総当り法によって近似解を求めた。

家電リサイクルに要する総費用は、施設数の増加とともに、緩やかに減少する結果となった。指定引取場所管理費およびリサイクルプラント管理費は、式(3)の第3項、第4項のように表現したために、それぞれの施設での廃家電製品取扱量に依存しほぼ一定の値をとっている。このため、総輸送費に関しても総費用と同様の傾向を示している。内訳をみると、1次輸送費は施設数が増加するごとに減少し、2次輸送費は施設数5のときに最小値をとり、それ以降は増加に転じている。施設数5のときの最適設置場所は、草津、甲西、彦根、長浜、大津となった。

本稿では指定引取場所等における管理費を廃家電製品量のみで表したが、製品量では表せない固定費用も生じると考えられ、今後改善する必要がある。

参考文献

- 1) 三好敬史、田村亨、佐々木恵一；静脈物流ネットワークのあり方に関する研究レビュー、土木学会第57回年次学術講演会、2002.9
- 2) 荒井康裕、前田雅史、小泉明、稲員とよの；遺伝的アルゴリズムによる静脈物流の最適化計画に関する研究 家電リサイクルにおける回収システムを対象として、環境システム研究論文集 Vol.32、2004.10