論　説

循環型社会構築のための課題

浮　田　正　夫*

1．はじめに

わが国においては，1991 年リサイクル法の制定，1992 年廃棄物処理法の改正を端緒として，その後，容器包装リサイクル法（1995.6 制定，1997.4 ～ 2000.4 施行），家電リサイクル法（1998.6 制定，2001.4 施行），2000 年には食品リサイクル法，建設リサイクル法の個別法とともに，循環型社会形成推進基本法，資源有効利用促進法，グリーン購入法が，2002 年には自動車リサイクル法（2005.1 施行）と，関連の法律整備が相次いで行われ，リサイクル行政は着実に前進してきた。市町村は分別収集体制を強化して，容器包装リサイクル法や家電リサイクル法に対応し，燃やせないごみの破砕資源化施設を稼働させてきた。廃棄物行政の関心は，ダイオキシン問題が一段落し，最終処分量を節約するための焼却灰のリサイクルに移っているようであり，一部の熱心な自治体を除いて，更なる分別収集の強化には慎重な姿勢をとっているように見える。

しかし，一般廃棄物の集団回収を含む，見かけのリサイクル率を見ると，2004 年度でなお 17.6％にとどまっていて[1)]，今後さらにリサイクル率を向上させるためには厨芥のリサイクルや焼却灰のリサイクルを進めなければならない状況になってきている。

また，最終処分場の確保のためには，量的な削減だけではなく，質的にもできるだけ安全なものにして行くことが求められ，貴重な金属資源等の散逸を防ぐ意味でも，一層きめ細かいリサイクルを進める不断の努力が必要であろう。

本稿では，このような背景から，山口県で力を入れている焼却灰のリサイクルを中心に，以下のような状況を紹介し，より徹底した循環型社会を構築していくための課題を整理したい。

1）山口県及び宇部市における焼却灰リサイクルの状況

2）食品系有機廃棄物のリサイクルの困難性

3）粗大ごみ系重金属廃棄物のリサイクルの必要性

4）その他のトピックス

2．山口県及び宇部市における焼却灰リサイクルの状況

山口県においては，エコタウン事業の核として位置づけられた焼却灰セメント利用が，2002 年度よりスタートし，フル稼働とまでは行かないが，ほぼ順調に運営されている。

山口エコテックの前処理工程は図 1 に示す通りで

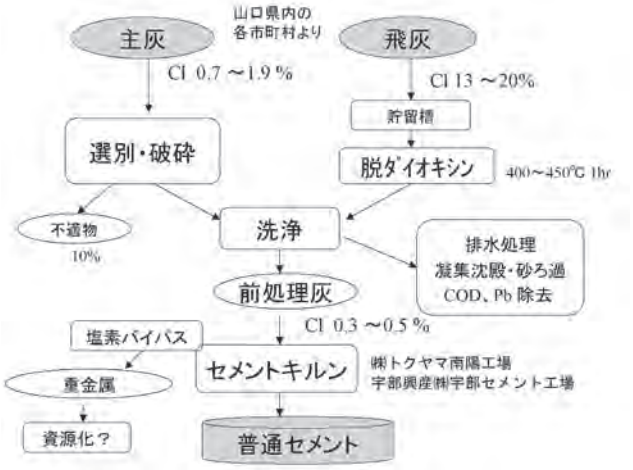

図１　ごみ焼却灰のリサイクル（山口県方式）

*山口大学名誉教授

ある。前処理された灰は（株）トクヤマ南陽工場及び宇部興産（株）宇部セメント工場にて粘土の代替原料として資源化されている。

セメントへの利用形態としては，山口方式（6万トン／年）のほか，同じく普通セメントへ利用する埼玉県方式（10万トン／年）およびエコセメント方式（16万トン／年）がある。現在合わせて30万トン強の受入量になっている（表1）。

一方，もう一つのオプションはごみを最終的に溶融スラグとして減量化あるいは資源化を図る方法で，現在ではおよそ日本全体で年間60万トン弱のごみ溶融スラグが生産されている。山口県においては，大口の下関市と宇部市が，エコタウン事業との時期的なずれもあって，独自に灰溶融あるいはガス化溶融方式を採用している。

2003年度における日本，山口県，宇部市の一人当たりのごみの排出，処理，リサイクル量を図2，図3a，bに比較した[2), 3)]。リサイクル率は，それぞれ16.9%，21.7%，21.7%で，山口県は焼却灰リサイクルによって，全国平均より高めの値となっている。最終処分率は15.6%，15.0%，16.2%である。宇部市における最終処分率がやや高いのは，事業系の建設廃棄物の持ち込みが他市よりやや多いこと，スラグ等の利用がなお十分ではないためである。もしスラグ等を全量利用できたとすれば，リサイクル率は26.8%，最終処分率は11.1%になると期待される。

なお，生ごみは多くの水分を含んでいるため，分母が大きくなり，リサイクル率は見かけ上，低めに算出される。かりに，生ごみが可燃ごみの50%を占め，その80%が水分として，リサイクル率の分母から，生ごみ中の水分を差し引いてみると，先の2003年度における山口県および宇部市のリサイクル率は実質的に21.7／0.6＝36%ということになる。

表1　焼却灰のセメント利用および溶融スラグの発生量

リサイクルの方式	場所	灰受入量（万t/年）	セメント生産量・スラグ発生量（万t/年）	備考
セメント原料利用				
普通セメント（山口）	周南	4～5		2002年度～
普通セメント（埼玉）	熊谷	6		2001年7月～
	津久見	4		2006年3月～
エコセメント	市原	6	11	2001年度～
	三多摩	10	16	2006年度～
溶融スラグ利用（2002年度）				
ガス化溶融炉		(18)	11	*
灰溶融炉		(75)	45	**

（　）：灰に換算　*：4.7千トン/日×210×0.109
**：3千トン/日×250×0.6

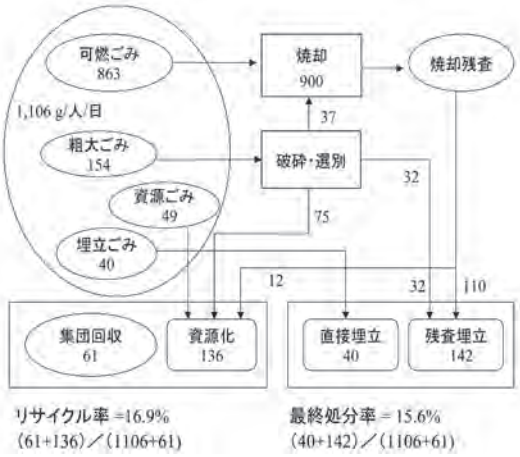

図2　一般廃棄物処理処分の現状 日本(2003)

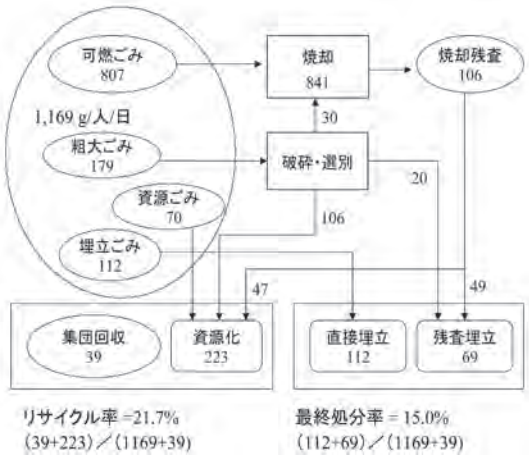

図3a　一般廃棄物処理処分の現状　山口県(2003)

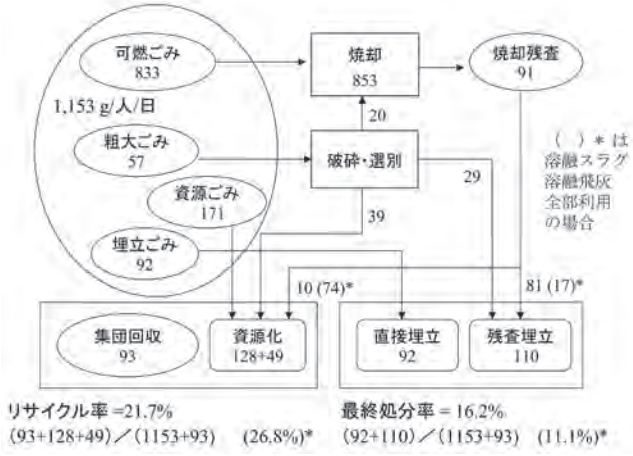

図3b　一般廃棄物処理処分の現状　宇部市(2003)

３．食品系有機廃棄物のリサイクルの困難性

さらにリサイクル率を向上させるためには，厨芥（生ごみ）のリサイクルが有効ではあるが，食糧輸入国であるわが国においては構造的に大変難しい状況にある。生ごみを堆肥化しても，堆肥をもっていくところがないというのはよく聞かれることである。今や，わが国は総合食糧自給率が 1/3 近くになり，2/3 は輸入に頼っている。ということは[4)]，わが国の農地作付面積の２倍に相当する作付面積を海外に借りて，生産してもらっていることになる。実際，農水省の資料を見ればこの状況は明らかである（図４）。かりに，飼料系も含む食品系有機廃棄物（食品系バイオマス）を全量堆肥にして，農地に戻そうとしても 2/3 は，単純にわが国の農地には戻すことができない計算である。しかも国内農地は化学肥料依存であるので，肥料必要量の全量相当分ではなく，一部相当分しか戻すことができない。化学肥料依存率が高ければ高いほど，わが国の農地に戻せる堆肥はさらに少なくなるわけである。このような背景から農水省では食品リサイクル法のリサイクルあるいは減量率の目標を 20％という低い値に設定しているのである。平成 16 年度における，わが国の一般廃棄物の堆肥化処理量は湿重ベースでわずか 6.7 万トンであり，１人１日当たりの厨芥＋草木ごみの発生量を 400g とすれば，1870 万トンの発生量のうちわずか 0.4％に過ぎない。実際，パイロット的に検討されている例も事業系の厨芥を対象としたもので，一般家庭からの厨芥を対象とするケースはほとんど見られない状況である。

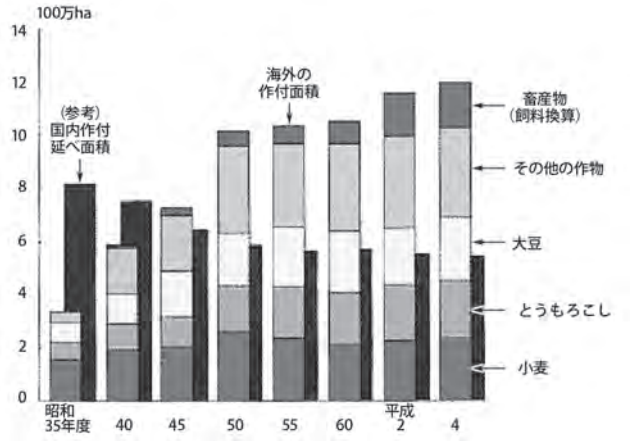

図４　主要輸入食料の生産に使われている海外の作付面積と国内作付面積の推移 (平成６年度農業白書)

ここで食品系有機廃棄物のリサイクルについて注意しておかなくてはならない点として，次の３点を挙げておく。

一つは，人々の関心はごみのリサイクル，生ごみのリサイクルにあるようだが，窒素やリンについては，生ごみよりもむしろ，し尿の方に多く含まれており（図５），この部分のリサイクルには，その重要性にもかかわらず，あまり関心が払われていないことである。参考までに，平成 15 年度の下水汚泥は固形物ベースで 215 万トンのうち，セメント利用 27.2％，その他建材利用 22.9％で多く，緑農地利用は 29.5 万トン，13.7％である[5)]。し尿処理汚泥や農業集落排水処理汚泥も農業利用される割合はわずかになっている。

二つ目は，温暖化ガス対策として，バイオマスの

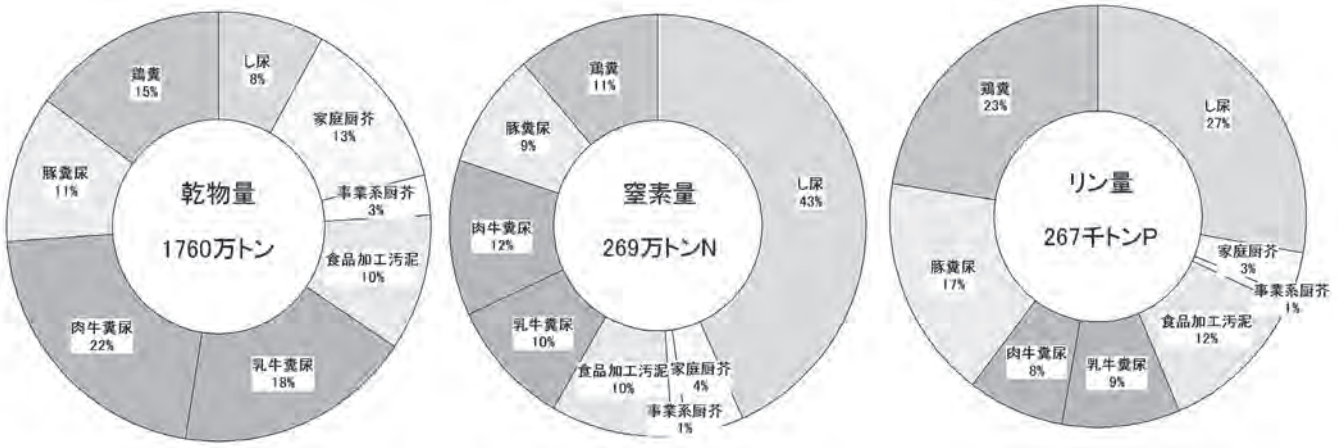

図５　わが国における食品系バイオマス量の推定 (2002 年度)

燃料利用に関心が高まっていることである。かつて有機肥料の代表的なものであった，鶏糞も燃料利用の対象になりつつある。木質系バイオマスは従来熱利用をしてきたので問題ないと思うが，土に戻したときの有機物そのものの効用や，混合焼却による重金属汚染の可能性を考えると，食料系バイオマスの燃料利用には慎重でありたい。

三つ目は，食飼料系有機廃棄物をリサイクルすることの重要性はなにも，窒素やリンに限ったことではない。カルシウム，マグネシウム，鉄，マンガン，銅，亜鉛等，微量有用ミネラルのリサイクルの重要性についても我々はもっと関心を払うべきではないかということである（表２）[6]。

表２　日本人の栄養所要量（ミネラル）

１人１日当たり

ミネラル		所要量 (18 歳～ 29 歳)		許容上限摂取量	備　　考
		男	女		
カルシウム	Ca	700mg	600mg	2500mg	
鉄	Fe	10mg	12mg	40mg	ヘモグロビン
リン	P	700mg	700mg	4000mg	
マグネシウム	Mg	310mg	250mg	700mg	骨形成
カリウム	K	2000mg	2000mg	―	神経・筋肉機能
銅	Cu	1.8mg	1.6mg	9mg	骨形成
ヨウ素	I	1.8mg	1.6mg	9mg	骨形成
マンガン	Mn	4.0mg	3.0mg	10mg	糖・脂質・蛋白質代謝
セレン	Se	60μg	45μg	250μg	肝機能，ビタミン E
亜鉛	Zn	11mg	9mg	―	生殖機能，味覚
クロム	Cr	35μg	30μg	250μg	糖代謝，脂質代謝
モリブデン	Mo	30μg	25μg	250μg	尿酸生成
ナトリウム	Na	10g 未満 /1 日			

わが国が依存している海外の農地でも，農産物を収穫し，輸出する一方では土壌中の必須ミネラル分が不足し，いずれ生産力に問題を生じる可能性もある。また，鉄は土壌中の存在量自体は非常に多い元素であるが，その化学的存在形態によって，作物への吸収性が異なり，有機物由来の腐植酸等の共存が重要であることが想像される（図６）[7]。いずれにしても，これら微量ミネラルの循環の輪が断たれ，細くなっていることが，われわれの健康にも影響がないのか検討が必要であろう。

WTO に対して，わが国は，国内農業の保護を訴えてきているが，生産効率のみ考えて，化学肥料に依存した農業をしていては，農業の多面的役割を主張しても，説得力に欠けると言わなければならな

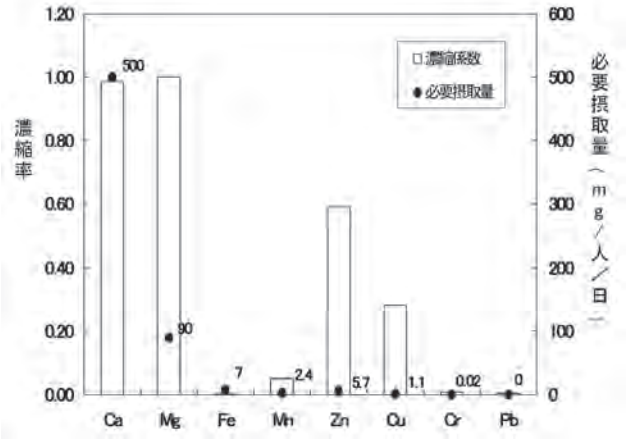

図６　作物のミネラル濃縮率と必要摂取量

い。農業もその生産物をリサイクルさせる責任を自覚し，実践することによって初めて，国際社会を説得できる可能性が出てくると思われる。

環境保全型農業への関心も徐々に高まりつつあるが，本来の農業を，あえて有機農業と特別な言い方で呼ばなければならないほど，化学肥料依存農業が一般化してしまったが，われわれの健康にも関わる最も基本的な循環であるので，現実は厳しいものであるにしても，今一度理想に立ち帰り，少なくとも目標は高く，明確に持つことが重要ではないかと考える[8]。

４．粗大ごみ系重金属廃棄物のリサイクルの必要性

焼却灰の重金属濃度を下げ，その再利用を促進し，同時に，貴重な重金属資源の回収を図るためには，粗大ごみ・燃やせないごみの処理過程の改善が重要である。現在，ほとんどの自治体で，破砕・資源化が行われるようになり，この処理工程からの可燃区分が焼却処理工程に入り，結果的に焼却灰の重金属濃度を上げている可能性がある。家電製品リサイクル法の施行によって相当程度，状況は改善されたが（図７）[9]，まだまだきめ細かい個別製品のリサイクルルートを構築していく必要があるように思われる。とくに，電池類，蛍光灯，基板類，電気製品の銅線など，資源回収と環境汚染防止のために，より丁寧なリサイクルを行っていく必要がある。

図７図８は宇部市のごみ処理の状況をやや詳しく

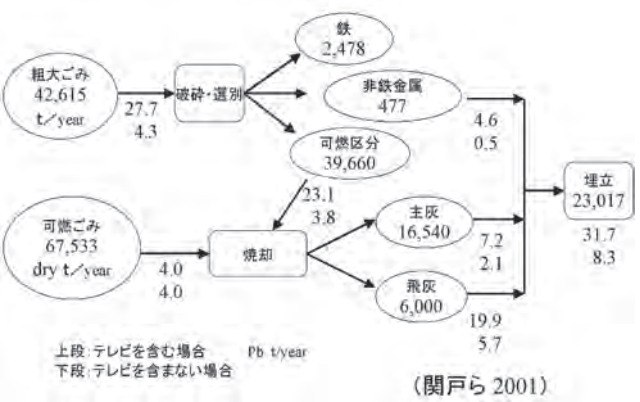

図7　テレビの別途リサイクル前後の鉛収支の変化

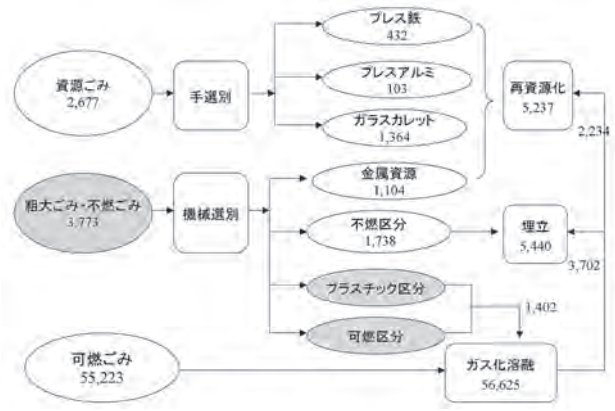

図8　宇部市リサイクルプラザ・焼却工場物質収支 2005年度 単位：トン/年

見たものである。表3は，焼却場（ガス化溶融施設）から排出される鉄区分，アルミ区分および不燃残査の組成を調べた結果である。鉄区分の鉄含量は93％であり，1.9％のアルミと0.8％の銅が混じる。また電池が1.5％含まれている。アルミ区分のアルミ含量は83％であり，6.2％の銅と，2.2％の鉄が混じる。埋め立て対象の不燃区分には，鉄が20.5％，アルミが5.5％，銅が1.5％，電池が0.36％含まれている。電池は3区分合わせると年間8.5トンにもなる。リサイクルプラザの可燃区分からのものが1.6トンであるので，6.9トンは燃やせるごみとして不適正に排出されていることになる[10]。表4はリサイクルプラザから排出される，鉄区分，アルミ区分，可燃区分，プラスチック区分，および不燃区分の組成を調べた結果である。鉄区分の鉄含量は94%であり，2.1％のアルミと0.3％の銅が混じる。アルミ区分のアルミ含量は78％であり，13.3％の鉄と，1.4％の銅が混じる。可燃区分には配線が1.85％，基板が0.71％，銅が0.2％，電池が0.13％含まれていた。年間それぞれ，23トン，8.9トン，2.5トン，1.6トンが焼却にまわることになる。プラスチック区分も焼却されるが，基板が0.8％，配線が0.3％含まれている。一方，埋立処分にまわる不燃区分には，20.3％のプラスチック，2.0％の可燃物が混じり，鉄が9.7％，電池が1.34％，基板が0.56％含まれている[10]。

表3　焼却施設残査（スラグ，飛灰は除く）発生状況

（宇部市2006年度2回調査の平均値％）

種類	鉄区分	アルミ区分	不燃区分
年間排出量 (t)	200	63	1343
鉄	93.2	2.2	20.5
アルミ	1.9	83.3	5.5
銅	0.8	6.2	1.5
電池	1.5	0.2	0.4
不燃物	0.5	5.7	53.0
残査 (3mm 以下)	2.1	2.4	19.1
合計	100.0	100.0	100.0

表4　粗大ごみ処理施設の分別後排出量及びその組成

（宇部市リサイクルプラザ2005年度4回調査の平均値％）

種類	鉄区分	アルミ区分	可燃区分	プラ区分	不燃区分
年間排出量 (t)	1039	74	1251	207	1634
鉄	94.04	13.34	9.56	0.47	9.68
アルミ	2.08	78.37	1.85	1.47	1.42
銅	0.29	1.35	0.20	0.12	
可燃物	0.30	0.39	12.72	13.50	1.97
軟質プラ	0.05	0.18	6.68	46.62	20.26
硬質プラ	0.46	5.10	56.25	19.09	
配線	0.06	0.23	1.85	0.32	
ゴム	0.04	0.21	4.37	1.36	
発砲スチロール	0.00	0.01	0.16	1.93	
基盤	0.02	0.23	0.71	0.79	0.56
電池	0.10		0.13	0.00	1.34
陶器，ガラス		0.45	3.93	1.05	56.78
ダスト	2.54	0.09	1.60	13.28	7.99
合計	100	100	100	100	100

山口県の場合は，焼却灰のセメントリサイクルが行われているので，主たる埋立対象物はリサイクルプラザからの不燃残査であり，その組成の吟味が重要であると思われる。

また，とくに燃やせないごみ系のよりきめ細かいリサイクルを行い，可燃ごみ中の不適物も少なくすることによって，焼却灰の重金属含量を減らすことができ，焼却灰のセメント利用やごみ溶融スラグの利用もやりやすくなると考えられる。

蛇足ながら，最近，アスベスト廃棄物の処理が，解体廃棄物を中心に業界の大きな関心事になっているが，粗大ごみリサイクルに関連して，ストーブ，トースター，電気コタツ，アンカなど，熱を使う家

庭用品の多くにはアスベストが使われているということであり[11]，リサイクルの破砕工程での労働環境にも配慮する必要があるように思われる。目下の所このような研究例はないようである。

5．その他のトピックス

最近の山口県内における静脈産業の動向で気になったこととして，昨年2005年度において帝人ファイバー（株）の画期的なペットボトルの原料リサイクルが，容器包装ペットボトルを落札できなかったことは衝撃であった。また今年度2006年度はペットボトルの落札価格がマイナスになった（図９）[12]。同社は，今年度は逆有償の落札により，ようやく部分的な量を確保されている。当初ある程度の処理費を見込んでの事業化であったはずであるので，おそらく非常に経営が苦しい状況にあることが推察される。今回の事態は中国の需要が活発で，多くのペットボトルが輸出に回ったためであるが，これほど市況の変動が激しいものに対して，先物入札制度を適用することは，もともと無理があるのではなかろうか。

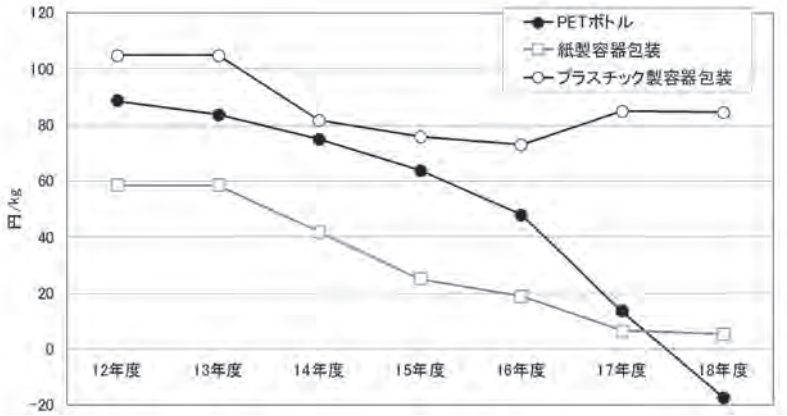

図９　容器包装廃棄物の再商品化委託単価の推移

再生処理業界は当然，安易に輸出に流れることがないように，自治体が分別収集したペットボトルは指定法人ルートに乗せることを義務づけるよう環境省に要望しているが，経済的に有利な方に流れるのは，自然なことであり，このような規制は，自由競争を妨げることにもなり，頭の痛いところである。

残念ながら，どう考えたらいいか名案はないが，おそらく，不法投棄や環境汚染規制を厳しく行いながら，処女資源税やエネルギー税，最終処分税をとって，その条件下で自由競争をしてもらえば，色々総合的な意味で，適正なリサイクルが行われるようになるのではなかろうか。その上で，開発補助金などのインセンティブも考えていけば，必要な技術開発も自然に進んでいくものと思われる。

もともと，静脈部のものの流れは，放っておけば，自然には流れないものであり，静脈部のスタート時に確実に処理費用を付与するか，あるいは始めから，動脈部のスタート時に，リサイクルのための費用を付与しておく必要がある。民営化ばやりの世の中であるが，このような仕事は公共事業として税金で運営されるべきことなのかもしれない。いずれにしても，処理のしにくい膨大な廃棄物が発生する現代においては，廃棄物に係る静脈部の経済は，これまでの動脈部の経済学では解釈できないものになっているようである。モノを生産し，消費することが善である，従来の経済の仕組みでは，循環型社会の構築は難しい。人間の環境に対する影響力が大きくなった現代においては，循環・共生・省エネのそれぞれについて，環境を組み込んだ新しい経済の仕組みを構築し，導入していく必要がある。

6．おわりに

以上，山口県のリサイクルの状況などを紹介しながら，循環型社会の構築の課題について考察した。

昨今政府の歳出圧縮のために，直接金儲けに結びつかない研究は非常にやりにくい状況になっている。これまで，公立の大学はある程度の研究費を保証してもらい，民間からは資金を得にくい研究をやることができた。大学には，将来に向けて必要な研究をし，政策の方向性を示すという社会的使命がある。先の見えにくい現在こそ，そのような使命を果たすために，なにがしかの公的な支えが必要であることを，社会に理解してもらうことも必要である。循環型社会構築に関

連して，卑近なところでいえば，産廃税を一般廃棄物まで拡大し，その税収の一部を，このような研究資金に当てるというようなことを考えてもらいたいと思う。

おわりに，資料の提供や，調査にご協力をいただいた，宇部市環境部，環境保全センター施設課，ごみ減量推進課，および日立造船（株）に厚く御礼申し上げます。（本稿はやまぐち環境ネットワーク第２回シンポジウム 2006.7.26 での講演内容を再録したものである）

参考文献

１）環境省：一般廃棄物の排出及び処理状況等（平成 16 年度実績）について，http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=7261

２）環境省：廃棄物処理技術情報平成 15 年度調査結果，ごみ処理の概要，同上

３）宇部市環境部ごみ減量推進課資料

４）農水省：平成６年度農業白書，http://www.hakusyo.maff.go.jp/books_b/WN01H060/html/SB1.3.2.htm

５）日本下水道協会：下水汚泥の処理及び処分状況，http://www.jswa.jp/05_arekore/06_use/riyou/data.html

６）厚生労働省：第６次改定日本人の栄養所要量について，http://www1.mhlw.go.jp/shingi/s9906/s0628-1_11.html

７）浮田正夫，劉　予宇，河野裕樹，金　玲仁，樋口隆哉，今井　剛：食品系廃棄物のミネラルリサイクルの重要性について，第 25 回水環境フォーラム山口，2004.8.27

８）浮田正夫：人と海の有機物とミネラルの循環，市民がつくるごみ読本Ｃ＆Ｇ（廃棄物学会）NO.9,82-89,2005

９）関戸知雄，田中信壽，松藤敏彦，松尾孝之：家庭系粗大ごみ中に含まれる鉛量の推定，土木学会論文集 No.671/ Ⅶ -18,pp.49-58，2001

10）李博洋，浮田正夫，樋口隆哉：ごみ焼却施設の物質・金属資源収支の推定，第 17 回廃棄物学会研究発表会，講演論文集Ⅰ ,pp.62-64,2006.

11）経済産業省：石綿（アスベスト）を含有する家庭用品の実態把握調査の結果について，http://www.meti.go.jp/press/20051228007/20051228007.html

12）財団法人日本容器包装リサイクル協会：再商品化（リサイクル）実績，落札単価（加重平均），http://www.jcpra.or.jp/recycler/index.html