

一般廃棄物を構成する元素組成の分析と変動評価

京都大学大学院 学生会員 ○室 喜子
 (株)荏原製作所 梶原洋和
 京都大学大学院 フェロー会員 森澤眞輔

1. はじめに

一般廃棄物処理システムには、廃棄物焼却に伴うダイオキシン発生などに代表される廃棄物の質に関する問題、普段廃棄物処理システムに潜在していた種々の負の蓄積（リスクポテンシャル）が事故・災害など異常時に一度に顕在化するという廃棄物の量に関する問題など様々なリスクが存在している。廃棄物の質に関するリスクをトータルに評価するためには、多種多様に変化する廃棄物の質を把握する必要がある。本研究では、廃棄物の構成元素に注目し、焼却処理前後における廃棄物の元素組成の変化を定量的に評価することを目的とする。

2. 廃棄物および焼却灰試料の元素分析

廃棄物を構成する元素組成が焼却前後でどのように変化するかを把握した上で、ごみの物理的組成に関する調査データからどの程度正確にごみの元素組成を推定できるかを評価するため、物質がその焼却処理の前後においてどのような元素組成を有しているかを調べる。

2-1 分析試料

T市の家庭ゴミ細組成調査報告書の細分類をもとに、ごみとして廃棄されると考えられる製品（廃棄される前の純製品）を再分類し、それぞれの分類毎にいくつかの製品を試料として抽出した。また、一般廃棄物中で大きな割合を占めている紙類、厨芥類、木片類の3つの大分類について、いくつかの製品を混合したもの（以下、「模擬ごみ試料」）を試料として元素組成を分析し、その結果をもとに実廃棄物の元素組成およびその変化を評価した。純製品試料、模擬ごみ試料に加え、これらのうち焼却処理が可能な試料の焼却灰を試料として元素組成を分析した。

2-2 分析方法

蛍光X線分析装置を用いて試料の元素組成を分析した。焼却前試料として、上記の試料を65℃で24時間（厨芥類については5日間）以上十分に乾燥させたものを用いた。焼却灰試料としては、試料を乾燥させ、ガスバーナーで一次処理した後、灰の飛散を防ぐためにアルミホイルを被せ、電気炉を用いて600℃で3時間加熱処理したものを用いた。

2-3 分析結果

同一中分類（例えば、紙類であれば「新聞紙」、「雑誌・週刊誌」など）に属するごみ成分中で平均10%（重量%、以下同じ）以上検出される元素（紙類においてはC、O、ガラス類ではO、Siなど）は、同一の中分類内ではどの製品でも必ず検出され、また各分類内ではほぼ同程度の濃度

で存在していることが分かった。濃度が数百μg/g～数%の元素については、製品の材質が均一であるか否かによって異なる特性を示した。材質がほぼ均一である分類の製品については、多くの構成元素が濃度は異なるものの安定して検出された。しかし中分類に含まれる製品によって材質が大きく異なる場合には、比較的大きい濃度で検出される元素であっても濃度が大きく変動した。これは、今回用いたT市の廃棄物細組成分類が廃棄物（製品）の材質よりも外見・用途に基づいて決められているためであると考えられる。

焼却後元素組成については、物質を焼却した際の元素ごとの残渣率（以下、「元素残渣率」）を次式により計算した。

$$\begin{aligned} \text{元素残渣率 (\%)} &= \frac{\text{焼却後元素濃度 (\mu\text{g/g})} \times \text{焼却後廃棄物重量 (g)}}{\text{焼却前元素濃度 (\mu\text{g/g})} \times \text{焼却前廃棄物重量 (g)}} \times 100 \\ &= \frac{\text{焼却後元素濃度 (\mu\text{g/g})}}{\text{焼却前元素濃度 (\mu\text{g/g})}} \times \text{廃棄物焼却残渣率 (\%)} \quad \dots (1) \end{aligned}$$

（但しここでは乾燥重量を使用）

元素残渣率は同一廃棄物組成分類内であっても大きく変動する結果となった。これは、元素残渣率が元素自体の特性はもちろん、その製品の密度、分子構成などの特性、温度などの焼却条件に大きく左右されるためであると考えられる。模擬ごみ焼却灰試料については、いくつかの試料で焼却残渣率が製品試料と比べ大きく異なる結果となり、その際元素組成もいくらか異なる結果となった。この焼却残渣率の違いは、製品試料を均一に混合した際に製品試料の密度が変化したこと由来であると考えられる。

3. 考察

3-1 クラスタ分析結果から見た製品元素組成の特色

製品試料の元素組成の特徴を調べるために、中分類の廃棄物を対象に構成元素のクラスタ分析を行った。結果の一例を図-1に示す。但し距離はユークリッド距離

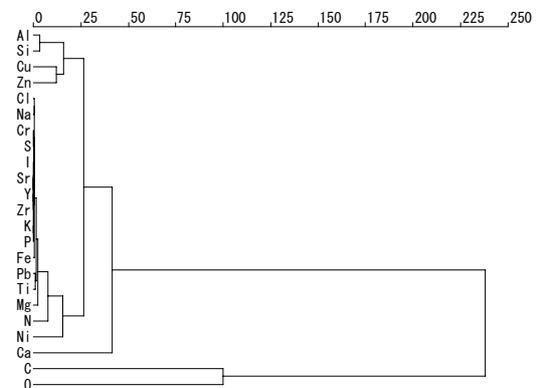


図-1 「折込広告」中分類における構成元素クラスタ分析結果

キーワード 一般廃棄物、蛍光X線分析、構成元素、クラスタ分析、元素残渣率

連絡先 〒606-8317 京都府京都市左京区吉田本町 京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻 環境リスク工学講座
 TEL 075-753-5156 FAX 075-753-5066

を採用し、元素のグループ分けを行うため最遠隣法によりクラスターを構成している。全体として同程度の濃度を有する元素が同じクラスターを形成する傾向を示したのに加え、濃度がある程度異なっている元素であっても、例えば「紙類」であればK,P,Feなどのパルプ成分中の微量元素が同じクラスターを形成するなど、それぞれの材質を特徴づけている構成元素が同じあるいは近いクラスターを形成する例が多く見られた。

3-2 製品および廃棄物試料の代表性について

同一中分類に分類される製品群から3製品を抽出し、等量ずつ混合して模擬ごみ試料を作製し、中分類ごみの元素組成の代表値を得るために必要なサンプル数について考察する。考察手順の概要を図-2に示す。

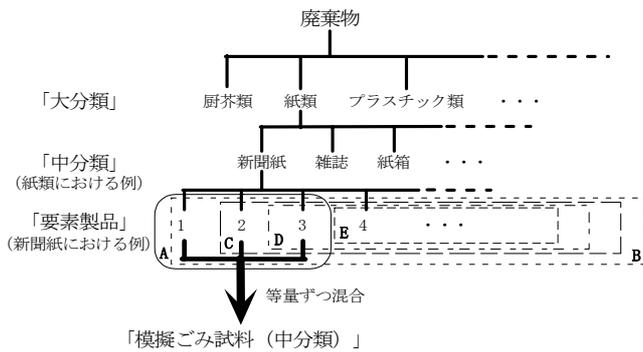


図-2 ごみ元素組成の代表値を得るために必要なサンプル数の検討手順（中分類模擬ごみ試料を用いた場合）

まず、3つの要素製品試料を等重量（乾燥重量）ずつ混合して中分類の模擬ごみ試料を作製した。この3製品試料（図中A群）の元素濃度の平均値を算定した。この計算値と模擬ごみ試料の元素濃度実測値とは理論的には一致すると考えられる。次に、その分類において元素組成を分析した、模擬ごみの成分である3製品を含むすべての製品（図中B群）の元素濃度の平均値を求めた。これは、ごみ中の製品の元素濃度がすべて測定済みである場合のごみ元素濃度の推定値に相当する。次にこれらの製品試料中から、模擬ごみ成分の3製品のうち1製品だけを除いて（図中C群）元素濃度の平均値を求めた。この計算値はごみの中に元素組成データのない製品が1つ混入した場合のごみ元素濃度の推定値である。同様に2つ除いた場合（図中D群）、3つ除いた場合（図中E群）を計算し、これらの計算値が実測値と比べどのように変動するかを調べた。ここでは、「野菜類（全要素製品数：28）」についての検討例を図-3に示す。「野菜類」のように要素製品試料数の多い分類では製品のデータの減少、つまり未知の製品の混入が推定値に及ぼす影響はほとんどなく、変動は大きくてもほぼすべての場合で実測値が推定値の標準偏差内に収まる。しかし要素製品試料数の少ない場合は、元素濃度が既知である要素製品試料の数が減るにしたがい推定値が実測値から離れる傾向が見られた。このことから、様々な性質をもつ製品からなる廃棄物区分であっても要素製品試料の数を多くすることで、対象とする廃棄物区分の元素組成は、変動幅は大きくても比較的精度よく予測できるといえる。

焼却灰試料については、焼却前試料の全重量に対する

元素残渣量の割合として次式のように定義した「元素残渣比」について同様の検討を行った。

$$\text{元素残渣比 (\%)} = \frac{\text{焼却後元素濃度 (g/g)} \times \text{焼却後廃棄物重量 (g)}}{\text{焼却前廃棄物重量 (g)}} \times 100$$

$$= \text{焼却後元素濃度 (\%)} \times \text{廃棄物焼却残渣率 (\%)} / 100 \dots (2)$$

（但しここでは乾燥重量を使用）

模擬ごみ試料と要素製品試料とではごみ重量の焼却残渣率（残灰率）が同じにならないため、焼却前と比べ焼却後においては実測値に対する推定値の変動が大きくなった。元素残渣率の大きい元素については、元素残渣比の推定値は、標準偏差は大きくても、いずれも比較の実測値に近い値を示した。

これに加え、大分類レベル（「紙類」、「厨芥類」など）で作製した模擬ごみ試料、さらに「紙類」「厨芥類」「木片類」3分類から製品を抽出、混合した模擬ごみ試料についても同様の計算を行った。中分類ごみの場合に比べて推定値の標準偏差が大きくなり、また計算値と実測値とのずれが大きくなったが、元素組成が既知の製品試料の総数がいずれの中分類でも多いため、元素濃度が既知の要素製品試料の数が減ることによる影響はほとんど見られなくなった。このことから、元素濃度が既知の要素製品試料の数は十分であるといえる。

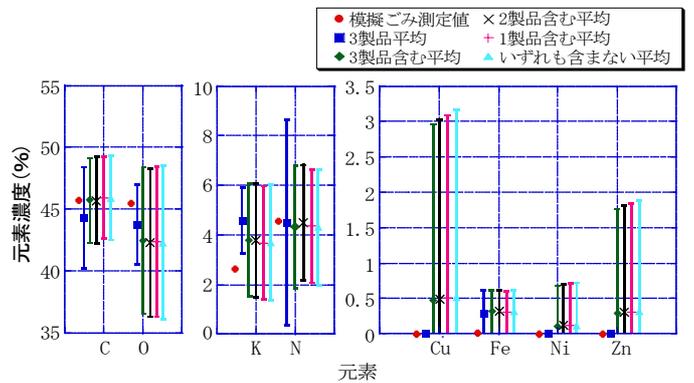


図-3 「野菜類」元素組成実測値と計算値との比較

4. まとめ

本研究では、廃棄物になる前の製品（廃棄物の成分）とその焼却灰、および製品を混合して作製した「模擬ごみ」の元素組成を測定し、その特性を変動も含め明らかにした。またこれらの結果を用いて廃棄物の焼却による元素残渣率の代表値と変動幅を廃棄物の大分類区分毎に決定した。焼却前後における廃棄物の元素組成や焼却による元素残渣率は、同一の製品区分内でも個々の製品の特性により変動することが分かった。廃棄物焼却による元素組成の変動については、これらの要因を考慮に入れた分析・評価が必要であるといえる。

さらに、廃棄物の区分毎に測定した元素組成およびその区分のごみが廃棄物中に占める重量比を用いて、廃棄物区分毎の元素組成および焼却後における元素残渣比を算定し、その推定精度についても評価した。廃棄物の元素組成および焼却による元素残渣比は、同一の廃棄物区分内でも個々の製品の特性により変動するが、元素組成が既知の要素製品の数を増やすことにより、その廃棄物区分の元素組成および焼却による元素残渣量を良好に推定できることを確認した。