

## 学位論文全文に代わる要約 Extended Summary in Lieu of Dissertation

氏名： 大塚 将成  
Name

学位論文題目： ガーナ共和国・アクラ地域の電気電子機器廃棄物処理場における  
Title of Dissertation 重金属類汚染の実態解明

### 学位論文要約 Dissertation Summary

#### 【はじめに】

近年、電気電子機器廃棄物(e-waste)は、先進国から途上国に大量に不正輸入され、その不適切な処理による環境汚染が大きな社会問題となっている。e-wasteに含まれる重金属類など多くの有害物質は、廃棄やリサイクル過程で環境中に放出される。また、途上国では有価金属回収を目的とした不適切な燃焼処理などが実施され、この過程における有毒な化学物質の生成が指摘されている。このように廃棄物の適正な処理体制が未整備なアジア・アフリカ途上国のe-wasteリサイクル処理場では、周辺環境の汚染が危惧されている。

本研究では、重金属類に着目し、ガーナ共和国アクラ地域のe-waste処理場周辺土壌を採取して、微量元素の定量とスペシエーションを実施し、住民の暴露実態とリスク、発生源周辺における動態について解析することを目的とした。先行研究では、重金属類の含有濃度に基づいた動態解析やリスク評価が展開されてきた。重金属類はe-waste処理過程で多様な形態に変化し、その毒性や動態は化学形態によって異なるため、リスクを適正に評価するには形態分析が必須である。そこで、重金属類の含有量分析に加え、X線吸収微細構造法(XAFS)を用いた化学形態分析により、住民の暴露実態を明らかにするとともに、そのリスクを包括的に考察した。

#### 【試料と方法】

2010年8月に、ガーナ共和国アクラ地域のAgbogbloshie e-waste処理場周辺で採取した土壌・焼却灰混合物を分析に供試した。土壌・焼却灰混合物試料中の重金属類含有濃度は、FP-XRF (Innov-X system) により測定した。また、土壌の非意図的経口摂取による健康リスク評価を目的に、1N塩酸による溶出試験を実施した。化学形態分析は高エネルギー加速器研究機構・Photon FactoryのBL9A、9C、4AによるXAFS分析を用いた。また、土壌・焼却灰混合物試料の色を、携帯型土色計 (SPAD-503、Konica Minoruta, Japan) によって測定し、L\*a\*b\*表色系を用いて数値化した。

### 【結果および考察】

土壌・焼却灰混合物試料から検出されたCu (50~22,000mg/kg)、Zn (200~160,000mg/kg)、Pb (100~14,000mg/kg)などの元素は、顕著な高濃度を示した。また、いくつかの試料では、Br (20~1,500mg/kg)、As (<50~1,100mg/kg)も高レベルであった。日本の土壌含有量基準(環境省告示19号)のPb、As (150mg/kg以下)と比較すると、その検出レベルは基準値を大きく上回っており、きわめて深刻な汚染実態であることが示唆された。また、各種重金属濃度は、土壌・焼却灰混合物の色指標(L\*a\*b\*)と良い相関を示すことが確認された。このことから、これらの金属類はe-waste由来であり、その焼却過程で環境中に放出されたものと推測された。塩酸抽出法により酸可溶性の金属濃度を測定したところ、Cu (30~6,900mg/kg)、Zn (90~38,000mg/kg)、Pb (50~12,500mg/kg)がきわめて高濃度であり、As (1~8mg/kg)、Se (4~9 mg/kg)なども高レベルであった。日本の土壌溶出量基準(環境省告示18号)は、Pb、As、Se、Cdが0.01mg/kg、Crが0.05mg/kgであり、この基準を大きく上回っていた。以上の結果から、汚染土壌・粉塵の経口摂取によるリサイクル業従事者の健康影響が危惧された。

XAFS分析の結果、ZnのX線吸収端近傍構造(XANES)スペクトルは、土壌・焼却灰混合物試料間で多様な形状を示した。解析の結果、試料中の主要化学種は、ZnS、ZnO、ZnCO<sub>3</sub>などであることが示唆された。塩酸抽出処理後のXANESスペクトルに着目すると、これらの化合物はほとんどの試料でZnSが主要な形態であった。ZnSは焼却処理で二次的に生成するとは考えにくく、製品中に含有されていたものと考えられる。ZnSはブラウン管の材料として使用されているため、廃テレビなどの焼却処理に伴い放出されたものと推察される。またZnOやZnCO<sub>3</sub>は、燃焼過程で生成した二次化合物の可能性がある。

Cuは、野焼き処理により回収される主要な金属であり、初期形態は金属銅と推定されるが、燃焼過程により別の形態に変化したものと考えられた。解析の結果、全試料のスペクトルがCuCl<sub>2</sub>と類似していた。CuCl<sub>2</sub>は、ダイオキシン生成の触媒として作用することが知られていることから、本処理場におけるダイオキシン類縁化合物の生成と汚染の拡大が懸念された。

BrのXANESスペクトルは、全ての土壌・焼却灰混合物試料において、有機臭素化合物のスペクトルと大きく異なった。このことから、Brは主に無機塩として含有されていることが示唆された。Br濃度は、野焼き地点で採取した焼却灰で最も高値を示し、初期形態は臭素系難燃剤などの有機化合物と推察される。したがって、e-waste中の有機臭素は焼却過程における熱分解で無機臭素に変化した可能性がある。このような環境では、ダイオキシン類縁化合物が生成しやすいと考えられ、そのモニタリングが次の課題として提示される。

本研究により、ガーナ共和国のe-waste処理場の汚染実態とその影響、e-waste処理過程における重金属類の化学形態変化が明らかとなった。重金属類の毒性や動態は、化学形態により大きく異なることから、本研究で得られた知見は、e-waste処理場における適切なリスク評価法の確立に寄与すると考えられる。また、環境改善や先進国支援の方策にも有用な基礎情報を提供できたものと考えている。