

(第5号様式)

学位論文審査の結果の要旨

氏名	大塚 将成
審査委員	主査 高橋 真 副査 田辺 信介 副査 康 峪梅 副査 多田 邦尚 副査 松枝 直人

論文名

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重金属類汚染の実態解明

審査結果の要旨

先進諸国における人間活動・産業活動の進展により、大量の電気電子機器廃棄物 (e-waste) が途上国に輸出され、不適切な処理による環境汚染が国際問題となっている。とくに内戦等による不安定な国家情勢が長期間継続したアフリカの途上地域では、バーゼル条約等の廃棄物輸出入や処理に関わる国際法が遵守されず、きわめて無秩序なリサイクルや廃棄物処理の現場が報告されている。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燃焼・焼却処理が遍在的に実施され、この過程における有毒な化学物質の二次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途上国の e-waste リサイクル処理場では、周辺環境の汚染やヒトの暴露リスクが危惧されている。

本学位論文は、アフリカの途上地域、ガーナ共和国の首都アクラに存在する Agbogbloshie e-waste 処理場をフィールドに、金属類による土壌汚染の実態解明を試みるとともに、微量元素の定量とスペシエーションによる形態分析を実施し、住民の暴露実態とリスク、発生源周辺における動態等について解析することを目的としたもので、得られた成果の概要は、次のようにまとめられる。

1) Agbogbloshie e-waste 処理場周辺で採取した土壌・焼却灰混合物試料を分析し、Cu (50～

22,000mg/kg)、Zn (200~160,000mg/kg)、Pb (100~14,000mg/kg) などの元素がきわめて高い濃度で含有されていることを発見した。また、いくつかの試料では、Br (20~1,500mg/kg)、As (<50~1,100mg/kg) も高レベルで汚染されていることを見出した。これらのデータを日本の土壤含有量基準 (環境省告示19号) の Pb、As (150mg/kg以下) と比較し、その検出レベルが基準値を大きく上回ったことから、当該地域はきわめて深刻な汚染状況にあることを指摘した。

- 2) 土壤・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、検出された元素濃度が色指標 ($L^*a^*b^*$) と良好な相関を示すことを確認した。この結果から、これらの元素は 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した。
- 3) 土壤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酸可溶性の元素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) なども高レベルで溶出したことを認めた。また、これらの溶出値は、日本の土壤溶出量基準 (環境省告示18号; Pb、As、Se、Cd: 0.01mg/kg、Cr: 0.05mg/kg) を大きく上回ったことから、汚染土壤・粉塵の経口暴露によるリサイクル業従事者の健康影響が危惧されることを指摘した。
- 4) 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種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要である。そこでX線吸収微細構造法 (XAFS) を用いて形態分析を試みたところ、ZnのX線吸収端近傍構造 (XANES) スペクトルは、土壤・焼却灰混合物試料間で多様な形状を示し、その主要化学種は ZnS、ZnO、ZnCO₃などであることを示唆した。塩酸抽出処理後のXANESスペクトルにも着目し、ほとんどの試料は ZnSが主要な形態であることを明らかにした。ZnSはブラウン管の材料として使用されていることから、廃テレビなどの焼却処理に伴い放出されたものと推察した。また、ZnO や ZnCO₃は、燃焼過程で生成した二次化合物の可能性のあることを示唆した。
- 5) Cuは、全試料のスペクトルが CuCl₂ と類似していることを認めた。Cuは、野焼き処理により回収される主要な金属で、その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ことを示唆した。CuCl₂ 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を予察した。
- 6) Br のXANESスペクトルは、全ての土壤・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異なることを見出し、主に無機塩として含有されていることを示唆した。Br の最高濃度は野焼き地点で採取した焼却灰で検出されたことから、その初期形態は臭素系難燃剤などの有機化合物であり、e-waste の焼却過程における熱分解で無機臭素に変化したものと考察した。また、このような環境下ではダイオキシン類縁化合物が生成しやすいことを指摘し、そのモニタリングを次の重要課題として提案した。

本学位論文は、これまで調査がほとんど行われていなかったアフリカにおける e-waste 処理場の汚染実態とその暴露リスクを包括的に明らかにした初めての研究成果として高く評価できる。また、元素の毒性や動態は、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 処理場で発生・生成される有害金属の環境汚染と暴露リスク評価法の構築に寄与すると考えられる。さらに、国際機関や先進国政府が展開する途上国の廃棄物処理技術や環境汚染防止技術開発のための基礎情報としても有用であろう。

本学位論文の公開審査会は平成 26 年 2 月 1 日に愛媛大学農学部において開催され、論文発表と質疑応答が行われた。引き続き学位論文審査委員会を開き、本論文の内容を審議した結果、委員全員一致して本論文は博士 (農学) の学位を授与するに値するものと判定した。