

## ザンビア鉛汚染地域の生物及び環境試料中の鉛化学形態の解明 Pb speciation of biological and environmental samples in Kabwe, Zambia

中山 翔太<sup>1</sup>、豊巻治也<sup>1</sup>、藤森 崇<sup>2</sup>、塩田憲司<sup>2</sup>

<sup>1</sup>北海道大学大学院獣医学研究院, 〒060-0818 北海道札幌市北区北 18 条西 9 丁目

<sup>2</sup>京都大学大学院工学研究科, 〒615-8540 京都市西京区桂

Shouta MM NAKAYAMA<sup>1,\*</sup>, Haruya TOYOMAKI<sup>1</sup>, Takashi FUJIMORI<sup>2</sup> and Kenji SHIOTA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Veterinary Medicine, Hokkaido University,

Kita 18 Nishi 9, Kita-ku, Sapporo, 060-0818, Japan

<sup>2</sup>Graduate School of Engineering, Kyoto University,

Katsura, Nishikyo-ku, Kyoto, 615-8540, Japan

### 1 はじめに

鉛は有用な金属として様々な用途に用いられてきたが、一方でヒトや動物への毒性影響があることも知られており、高濃度の鉛曝露は腎不全や脳炎、最悪の場合は死を引き起こす。年間 23 万人が主に鉱床由来の鉛中毒により死亡し、60 万人以上の子供の知的発達に影響を及ぼしている。米国 ATSDR (環境有害物質・特定疾病対策庁) は、2013 年に数千万種類ある化学物質・元素の中でヒ素に続く第 2 位の人体有害物質に鉛を挙げた。特に、地下資源の豊富な途上国では人工的な乱開発に伴う鉛汚染が深刻である。2010 年にはナイジェリア・ザムファラ地域で、金採掘に伴う鉛中毒により 400 人の子供が死亡し、その影響は数万人に及ぶ。

現在、WHO/CDC は「血中の鉛は検出されないこと」を推奨している。つまり、鉛の毒性を引き起こす濃度に閾値は設定できず、非常に低濃度であっても生体へ毒性影響を及ぼすことが危惧されている。このような閾値の設定できない金属・化学物質は鉛以外には知られておらず、最も危険視されている理由である。特に、大人に比べ子供は鉛への感受性が高く、身体的成長や知能発達への影響が報告されており、幼少期の鉛曝露及びその毒性影響を低減することは急務である。

世界中で鉛汚染に関する研究が報告されている一方で、鉛の生体内での挙動やその毒性発現メカニズムに関しての詳細な知見は未解明である。

著者らのグループはザンビア・カブエ鉛鉱床地域の環境中の鉛汚染、及びヒト、家畜や野生動物などの鉛曝露に関する研究を行ってきた[1, 2, 3]。鉱床周辺に住む子供の鉛曝露の調査では、全ての子供で懸念域とされる 50 ppb を超える血中鉛濃度が確認され、更に致死域とされる 1 ppm を超過する子供も見つかった。同地域の生物試料及び環境試料からは、世界的に見ても高濃度の鉛が確認されている。鉛は生体内で蛋白や酵素などと結合し、その働きを阻害する

ことが知られており、生体中の鉛の存在形態や組成は鉛の毒性影響を考える上で非常に重要である。しかしながら、野生生物試料中の鉛濃度がボトルネックとなっていたため、重金属が蓄積しやすい海洋生物で主体的に行われてきた。しかしながら、ザンビア・カブエは世界的に見ても高濃度の鉛に汚染されており、陸上生物の生体試料から XAFS 測定に適用できる程の高濃度の鉛を確認している (100 ppm 以上)。そのため、本研究では野生ラットの様々な臓器中の鉛の化学形態について、XAFS を用いて解明する事を目的とした。

### 2 方法

本研究では鉛汚染地域であるザンビア・カブエで採取した野生ラット試料を用いた。試料は XAFS 測定前に、誘導結合プラズマ質量分析計 (ICP-MS) を用いて鉛濃度の測定を行った。生物試料として、野生ラット 8 検体の臓器 (腎臓、筋肉、肺、脾臓、脳、肝臓、血液、心臓、生殖器) 及び骨と胃腸内容物 (胃内容物、小腸内容物、大腸内容物、糞便) を用いた。生物試料は凍結乾燥処理後、メノウ乳鉢を用いて均一化し、密封して測定直前まで冷凍保存した。一部鉛濃度が 100 ppm を超える試料は凍結乾燥処理をせずに、同様の処理を行った。Pb L3 端の XAFS 測定 (13.03 keV) を Photon Factory BL-12C (2019G088) において、透過法または 7 素子 SSD を用いた蛍光法により実施した。

### 3 結果および考察

今回の実験では野生ラットの様々な臓器で Pb L3 端 XAFS スペクトルの測定を試みた。乾燥重量で鉛濃度が 30 ppm を超える試料に関しては概ね明瞭なスペクトルを得ることができたが、30 ppm を下回る血液、心臓、生殖器 (精巣及び卵巣) に関しては明瞭なスペクトルを得ることが困難であった (Fig.

1)。凍結乾燥処理によるスペクトルの大きな違いがなかったことから、凍結乾燥処理が生物試料中の鉛の化学形態に与える影響は小さいと考えられる。凍結乾燥処理によって生物試料中の鉛濃度を上げることができることから、生物試料での XAFS 測定において凍結乾燥処理が有用であると考えられる。

明瞭なスペクトルを得られた臓器では、スペクトルの特徴が臓器別に異なっており、臓器によって鉛の化学状態が異なることが示唆された。一方で、個体ごとに比較すると臓器が同じであれば同じ特徴のスペクトルが得られたため、臓器ごとの鉛の化学形態に個体差は殆どないことが示唆された。このことから、野生ラットでは臓器特有の鉛の蓄積形態があると考えられる。臓器によって鉛の化学形態が異なることは、鉛の生体への毒性を考える上で重要な知見となりえる。

胃腸内容物に関しては、胃内容物のスペクトルが個体ごとに大きく異なったものの、腸内容物では個体差が小さくなり、糞便では個体差がほぼなかった。このことから、曝露源（胃内容物）の鉛の化学形態は異なるものの、生体内で消化・代謝していく中で鉛の化学形態は均一化していく事が示唆された。

今回の実験で得られたスペクトルを用いてより、詳細な鉛化学形態の解析を行っていく予定である。しかしながら、現在保有している XAFS ライブラリーでは生体内の鉛の化学形態を解析するには十分ではないと考えられるため、生体内で存在すると考えられる鉛化合物の情報を集め、鉛の XAFS ライブラリーをより充実させる必要があると考える。また、曝露源と考えられる土壌などの環境試料中の鉛の化学形態との関連性も今後明らかにする必要がある。

#### 4 結論

今回の実験から、野生ラットでは臓器中の鉛の化学形態に個体差はなく、臓器ごとに固有の鉛の化学形態があることが示唆された。似たような鉛スペクトルを持つ臓器もあり、今後臓器ごとにより詳細な化学形態の解析を行っていく予定である。

#### 参考文献

- [1] Nakayama *et al.*, *Environ Pollut* 159, 12 (2011).
- [2] Yabe *et al.*, *Environ Toxicol Chem* 32 (2013).
- [3] Yabe *et al.*, *Chemosphere* 119 (2015).

\* shouta-nakayama@vetmed.hokudai.ac.jp

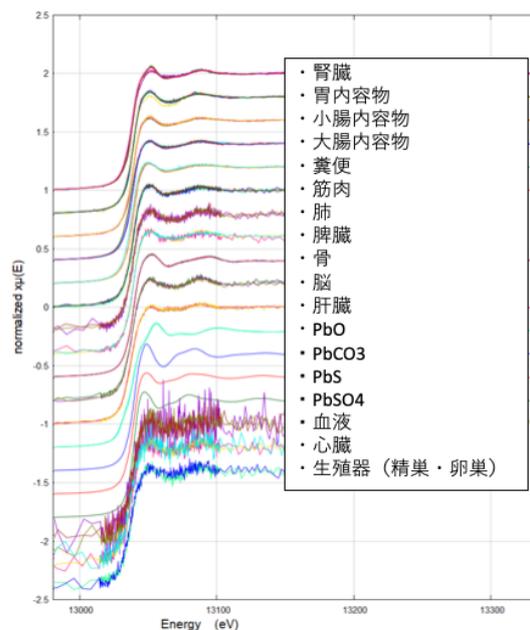


Fig 1. 臓器別の Pb L3 端スペクトル