

# 植物の重金属蓄積メカニズムを解明する $\mu$ -XRF-XAFS システム ～汚染土壌の浄化を目指して～

保倉明子<sup>1</sup>, 中井 泉<sup>2</sup>

1 東京電機大学工学部環境化学科, 2 東京理科大学理学部応用化学科

ある種の植物は、水や養分を吸収する際に土壌中の重金属も体内に取り込み、高濃度に蓄積することが古くから知られている。近年、重金属汚染された土壌を浄化するためにこれらの植物を用いるファイトレメディエーションが、環境にやさしい浄化技術として注目を集めている。なぜ特定の植物種だけが毒性の高い重金属を取り込み、枯死することなく蓄積できるのか、その機構に興味をもたれている。植物は高度に分化した組織構造をもつ複雑系であり、そのメカニズムを解明するためには、一つの試料から多角的にデータを収集することが望まれる。放射光マイクロビームを光源とする X 線分析法は、 $\mu\text{m}$  スケールの組織構造をもつ試料をそのまま分析することができるので、 $\mu$ -XRF,  $\mu$ -XRD,  $\mu$ -XAFS を複合的に用いることで、物質の定性・定量および化学状態分析が可能となる非常に優れた手法であるといえる。ここでは、 $\mu$ -XRF および  $\mu$ -XANES の手法を、有害元素を蓄積する植物へ適用した例を紹介し、BL-15 への期待を述べたい。

## (1) ヒ素を蓄積する植物

シダ植物のモエジマシダ (*Pteris vittata* L.) は、ヒ素汚染土壌で栽培すると乾燥重量あたり 20,000 ppm ものヒ素を蓄積する。植物に吸収されたヒ素の化学状態を調べるため、鉢植えのシダをそのまま生きた状態でヒ素の XAFS 測定に用いた。ビームサイズは約 1 mm 角程度であり、この空間分解能で各部位の化学状態分析を行った。モエジマシダの葉柄や中軸においては 3 価と 5 価のヒ素が共存しているのに対し、葉（羽片）ではほとんどのヒ素は 3 価で存在しており、土壌からシダに取り込まれたヒ素は 5 価から 3 価に還元されて、各器官に蓄積している様子が示された。また、ヒ素の化学種によって X 線吸収端エネルギーに違いがあることを利用し、選択励起することで化学種別の 2 次元分布測定も行われている。モエジマシダの葉において、主なヒ素の化学種は亜ヒ酸イオンであるが、茎から葉へ分配される極一部の領域において、硫黄と結合した 3 価のヒ素が見出されている。この報告では mm スケールの空間分解能であるため、さらに微小領域について詳細に検討することで、新たな知見が得られる可能性があるだろう。

## (2) カドミウムを蓄積する植物

カドミウムを蓄積する植物として、ナス科のタバコやオシダ科のヘビノネゴザが知られている。根、茎、葉の部位別に試料を調製して XAFS 解析に供したところ、タバコでは、いずれの部位でもカドミウムは硫黄と結合した化学種として存在していた。一方、ヘビノネゴザでは、根においてほとんどのカドミウムは酸素と結合しているが、地上部においては硫黄と結合した化学種と共存していることが示された。このように根から地上部へ輸送される際にカドミウムの化学形態が変化しており、植物における重金属蓄積機構の解明には、微小部における化学形態分析が可能な  $\mu$ -XANES の適用が望まれる。

今後の  $\mu$ -XRF-XAFS システムとして、マイクロビームの安定性に加え、ビームサイズに対応した試料観察システムや試料状態を保持するための低温窒素フロー冷却システムの導入、複合分析が自在な制御システム・解析ソフト等の整備が必要である。