

カドミウム超集積植物における重金属移行・蓄積過程の解明に
対する放射光高エネルギーマイクロビームの適用

Study on transport and storage mechanism for heavy metals
in the Cd hyper-accumulator plant by using
synchrotron radiation high-energy microbeam

保倉明子^a、福田直樹^a、北島信行^{a,b}、遠藤 哲^a、中井 泉^a、寺田靖子^c

A. Hokura^a, N. Fukuda^a, N. Kitajima^{a,b}, S. Endo^a, I. Nakai^a, Y. Terada^c

^a東京理科大学理学部、^bフジタ、^c高輝度光科学研究センター

^aFaculty of Science, Tokyo University of Science, ^bFujita Co., ^cJASRI

放射光高エネルギーマイクロビームを用いて、カドミウム超集積植物ハクサンハタザオにおけるカドミウムの移行・蓄積過程の解明を試みた。培養液に共存するカドミウムと亜鉛の濃度を様々に設定して栽培した試料を用いた。その結果、培養液中のカドミウム濃度が同じであっても亜鉛濃度が高いほど、葉へ移行するカドミウム濃度は高く、葉肉全体へ蓄積されている様子が示された。一方、葉の表皮組織である毛状突起細胞（トライコーム）におけるカドミウムと亜鉛の分布には強い正の相関があり、その分布と蓄積量は培養液中の亜鉛濃度に影響を受けないことが明らかとなった。

The transport and storage mechanism for heavy metals in the cadmium hyper-accumulator plant were studied by using high-energy X-ray microbeam. The *Arabidopsis halleri* ssp. *gemmaifera* cultivated in the medium containing varied amount of zinc and cadmium were subjected to the μ -XRF analysis. It was found that the plant show much wider distribution of cadmium over the whole leaf when the plant was cultivated in higher zinc concentration even when the amount of cadmium in the medium was constant. On the other hand, the cellular distributions of cadmium and zinc in trichomes were revealed and there was positive correlation between the distributions of cadmium and zinc. The concentration and distribution of cadmium were not affected by the concentration of zinc in the medium.

背景と研究目的

最近、重金属超集積植物を用いて重金属汚染土壌の浄化を行なうファイトレメディエーションが低環境負荷技術として注目されている。¹⁾ 植物に重金属を効率よく蓄積させることがこの技術の鍵となるため、土壌からの吸

収、根から地上部への移行、地上部における蓄積などの機構についての研究が行なわれている。我々は放射光マイクロビームを用いて、植物における重金属蓄積部位を細胞レベルで明らかにしてきた。²⁻⁶⁾

ハクサンハタザオ (*Arabidopsis halleri* ssp.

gemmifera)⁷⁾は亜鉛とカドミウムの超集積植物であり、このような同属元素の移行・蓄積機構の解明は非常に興味深い。今回我々は、カドミウムと亜鉛の移行・蓄積の挙動に注目し、培養液中のカドミウムと亜鉛の濃度を様々に設定して栽培した試料について、葉における蓄積の様子を明らかにした。

試料

Cd と Zn を添加した培地でハクサンハタザオを栽培して実験に供した。Cd の投与濃度は $20 \mu\text{mol/l}$ とし、Zn の投与濃度を 0.1, 1, $100 \mu\text{mol/l}$ の 3 水準に設定した。測定は BL37XU で行なった。アンジュレーター光を Si(111) 二結晶分光器で単色化し、K-B ミラー^{8,9)}で集光して得られた約 1 ミクロンのマイクロビームを用いた。X 線のエネルギーはカドミウムの K 線の励起効率がよい 37 keV とした。X 線を試料に照射し、試料ステージを走査して含有元素の蛍光 X 線 2 次元イメージングを行った。また 50 ミクロン程度のビームを用いて葉全体におけるカドミウムの分布についても測定を行なった。

結果と考察

ハクサンハタザオの葉における蛍光 X 線 2 次元イメージングの結果を図 1 に示す。投与した Zn の濃度が高くなるにつれて、葉の隅々まで Cd の分布が広がっている様子が確認できた。植物体内における Cd の吸収・蓄積過程に対して、共存する Zn が拮抗することはなく、むしろ正の相関をもって取り込まれていることが示唆された。

また、いずれの試料でも Cd と Zn の蛍光 X 線強度が極めて強い部位が点在しており、葉

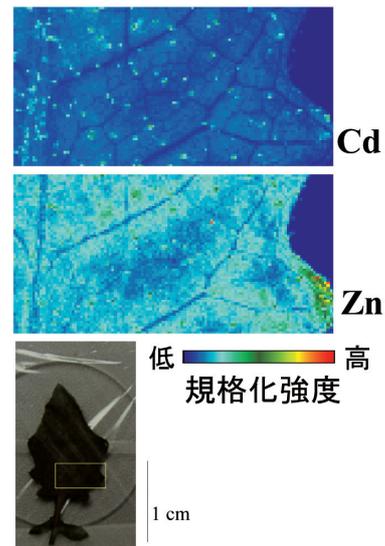


図1 20 μM Cd, 100 μM Zn の条件で栽培されたハクサンハタザオの葉におけるカドミウムと亜鉛の XRF2 次元イメージング結果
X 線エネルギー: 37 keV, ビームサイズ: $50 \mu\text{m} \times 50 \mu\text{m}$, 測定点数: 61 点 \times 121 点, 測定時間: 0.3 秒/点.

に無数にあるトライコームと呼ばれる毛状突起に Cd と Zn が高濃度に蓄積していることが明らかになった。

さらに 1 ミクロンサイズのマイクロビームの適用により、カドミウムはトライコーム内において均一に分布しているのではなく、局部的に濃集している様子が明らかとなった。しかしながら、その分布と蓄積量は培養液中の亜鉛濃度に影響を受けないことが明らかとなった。[1][2][3]

参考文献

- 1) I. Raskin and B.D. Ensley: *Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean Up the Environment*, John Wiley & Sons, Inc. (1999).
- 2) A. Hokura, R. Onuma, Y. Terada, N. Kitajima, T. Abe, H. Saito, S. Yoshida and I. Nakai: *J. Anal. At. Spectrom.*, **21** (2006) 321-328.
- 3) N. Kitajima, R. Onuma, A. Hokura, I. Nakai, Y. Terada: *Proc. 8th Int. Conf. X-ray Microscopy*,

- IPAP Conf. Series 7 (2006) pp. 321-322.
- 4) R. Onuma, A. Hokura, N. Kitajima, I. Nakai, Y. Terada, T. Abe, H. Saito, S. Yoshida: Proc. 8th Int. Conf. X-ray Microscopy, IPAP Conf. Series 7 (2006) pp. 326-327.
- 5) A. Hokura, R. Onuma, N. Kitajima, I. Nakai, Y. Terada, T. Abe, H. Saito, S. Yoshida: Proc. 8th Int. Conf. X-ray Microscopy, IPAP Conf. Series 7 (2006) pp.323-325.
- 6) A. Hokura, R. Onuma, N. Kitajima, Y. Terada, H. Saito, T. Abe, S. Yoshida, I. Nakai: *Chem. Lett.*, in press.
- 7) H. Kubota and C. Takenaka: *Int. J. Phytoremediation*, **5** (2003) 197.
- 8) A. Takeuchi, Y. Suzuki, Y. Terada, M. Awaji: SPring-8 Activity report 2004B, p. 125.
- 9) Y. Terada, A. Takeuchi, Y. Suzuki: SPring-8 Activity report 2005A, p. 170.

論文発表状況・特許状況

- [1] R. Onuma, A. Hokura, N. Kitajima, Y. Terada, H. Saito, T. Abe, I. Nakai: in preparation.
- [2] 福田直樹, 小沼亮子, 柏原輝彦, 保倉明子, 中井 泉, 北島信行, 齊藤宏之, 阿部知子, 第 67 回分析化学討論会 (口頭発表) .
- [3] 福田直樹, 小沼亮子, 柏原輝彦, 保倉明子, 中井 泉, 北島信行, 齊藤宏之, 阿部知子, 第 42 回 X 線分析討論会 (ポスター発表) .

キーワード

・ファイトレメディエーション

植物が生育土壌から水や無機成分を摂取する力を利用して汚染土壌の改質を行う技術で、対象の汚染が重金属元素の場合には、それらを植物体内に蓄積させることで土壌の浄化を

行うものであり、アメリカでは実用化開始段階にある。このように植物を用いて土壌の重金属汚染浄化を行なうことは、植物が本来持っている生物機能を活用した環境にやさしい技術であり、最近注目されている。