

バイオ反応場における重元素の不溶化現象の解明 ー放射性Csのバイオ除染の可能性ー

大貫 敏彦 バイオアクチノイド研究グループ
Toshihiko Ohnuki Research Group for Bioactinide



微生物の中には、水に可溶性のウラニルイオンを還元して不溶性に変えるものがあります[1]。この反応は、微生物細胞の表面が反応場となっていることによって起こると考えられています。私たちは、微生物細胞や生体分子が機能を発現する反応場において不溶化(吸着・結晶化)したウラン、セリウム(Ce)、セシウム(Cs)などの重元素の化学状態を放射光などの最先端分析手法により分析し、バイオ反応場における重元素の化学状態変化機構を解明する研究を行っています[2-4]。このような研究は、重元素の新しい分離・回収法のみならず、微生物あるいは生体分子を用いる環境修復法・廃棄物処理法の開発につながる重要な研究です。私たちは、重元素の化学状態変化機構を解明する研究を行うとともに、放射性Csを除去するバイオ技術の開発にも取り組んでいこうと考えています。ここでは、Ceイオンの細胞表面でのナノ粒子化、および土壌細菌と担子菌類へのCsイオンの濃集について行った実験により得られた結果を紹介します。

微生物が必須元素としてリン酸を細胞内に蓄積することと、希土類元素などの重元素とリン酸塩の鉱物の溶解度が非常に小さいことに着目し、酵母細胞とCeイオンを水溶液中で反応させる実験を行いました[2,3]。その結果、水溶液中のCeイオンの濃

度が減少するとともに、水溶液中のリン酸塩濃度が上昇しました。そこで、酵母細胞を電子顕微鏡で観察したところ、細胞表面にCeとリン(P)を含むナノスケールの微粒子が多数生成していました(図1)。水溶液にはリン酸イオンを添加していないことから、水溶液中のCeイオンが細胞表面に吸着し、酵母細胞内から排出されたリン酸イオンと細胞表面で反応してナノ粒子を形成したと考えています。電子線回折法による分析から、生成したナノ粒子は希土類元素リン酸塩鉱物であるモナザイト(CePO_4)であることが分かりました。酵母のいない水溶液中でセリウムイオンとリン酸イオンを混ぜることでモリン酸セリウムの沈殿はできましたが、ずっと大きく形状が異なりました。したがって、酵母細胞は、Ceのナノ粒子を生成する工場のような役割を果たしたといえます。

土壌細菌へのCsの濃集についても *Pseudomonas fluorescens* (*P. fluorescens*) を用いて調べました[5]。水に溶解したCsイオンは *P. fluorescens* に最大で $5 \mu\text{mol Cs/g}$ 乾燥重量 濃集されることが分かりました。濃集したCsイオンの脱離性を調べたところ、おおよそ90%のCsが1M $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 溶液に脱離しました。微生物細胞表面には、カルボキシル基やリン酸基などの吸着官能基が存在するので、水溶液中のCsイオンは *P. fluorescens* 細胞の官能基に交換可能な化学状態で吸着していると考えられます。さらに、Csを含む培地溶液で *P. fluorescens* を培養した結果、*P. fluorescens* は成長するものの、Csイオンの濃度の減少は見られませんでした。これらの結果から、*P. fluorescens* はCsを細胞の中に取り込む機能は持っていないものの、細胞表面に吸着することが分かりました。

酵母(真核生物)の仲間には担子菌類があります。担子菌類の一種である *Pleurotaceae* 種を用いてCsの濃集実験を行いました。500ppmと1000ppmのCsを含む培地で培養した *Pleurotaceae* 種は図2A,Bのような子実体(キノコ)が成長しました。

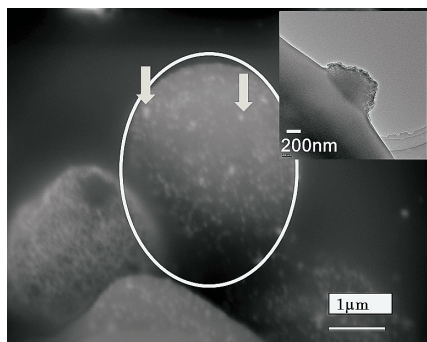


図1 Ce水溶液に酵母を添加して4日間静置した後の電子顕微鏡写真。白色の楕円で示したのが酵母細胞、細胞表面の矢印で示した明るい点々がCeとリン酸を含むナノ粒子。右上はナノ粒子の拡大図。

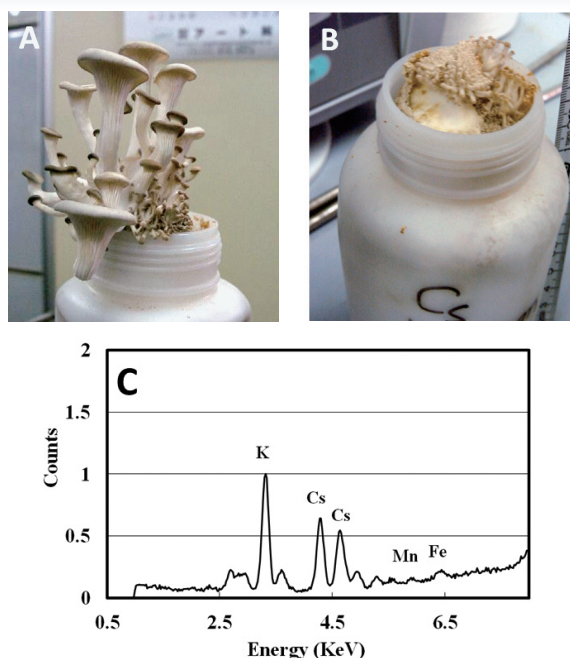


図2 Csを含む培地(500ppm(A)、1000ppm(B))で生育した *Pleurotaceae* 種。Cs濃度が高い方が小さな子実体が成長した。Cs 1000ppmを含む培地中で成長した子実体の蛍光X線スペクトル(C)。

Csの濃度が高い培地で成長した *Pleurotaceae* 種ではより小さな子実体が成長しました。子実体に含まれる元素を蛍光X線分析器で調べたところ、図2Cのようなスペクトルが得られ、Csが集まっていることが分かりました。担子菌類は、培地内に菌糸を成長させ、子実体を形成します。子実体内にCsが検出されたことから、菌糸にもCsが濃集していることが分かります。今後は定量的な評価を加えることで担子菌類へのCsの濃集を調べる予定です。また、担子菌類の他にも様々な機能を有する微生物があります。微生物の機能を用いて放射性Csを除去する技術は、環境に負荷を与えないエコフレンドリーな手法です。微生物の有する重元素の濃集機能を応用し、福島第一原子力発電所からの放射性降下物で汚染された土壤などを除染することはできないか、と考えています。

一方、今後の放射性核種の除染を効率的に行うためには、福島第一発電所からの放射性降下物は現在どのようなところに濃集しているかを知ることも重要です。私たちは、福島県内で採取した植物や土壤を用いて、放射性Csの局所的な分布についても調べています[6]。樹木をオートラジオグラフィーで

測定した結果、図3Aに示すような黒い斑点が葉の部分に検出されました。樹木の光学写真(図3B)と比べると、緑色部の濃い部分に黒い斑点が検出され、黄緑色の葉の部分にはほとんど検出されませんでした。黄緑色の部分は今年成長した葉です。放射性Csは放射性降下物が沈着した時に既に生長していた葉にのみ沈着しており、今年成長した葉には放射性Csはほとんど転流していないと考えられます。現在、土壌についてもCsの化学状態を明らかにする研究を進めています。

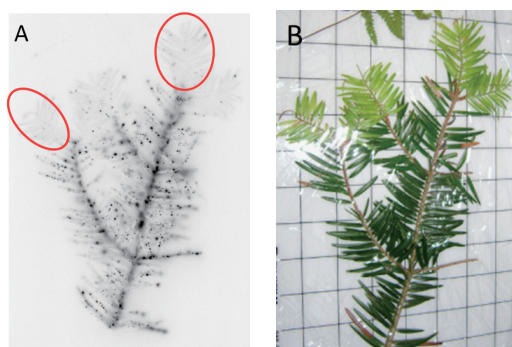


図3 福島県飯舘村で採取したカヤ(*Torrey nucifera*)の光学写真(右)とオートラジオグラフィイメージ(左)。赤○の部分は今年成長した葉の部分。

- [1] D.R. Lovley, E.J.P. Phillips, Y.A. Gorby, E.R. Landa *Nature* **350**, 413-416 (1991).
- [2] T. Ohnuki, T. Ozaki, T. Yoshida, F. Sakamoto, N. Kozai, E. Wakai, A. J. Francis, and H. Iefuji, *Geochim. Cosmochim. Acta* **69**, 5307-5316, (2005).
- [3] M. Jiang, T. Ohnuki, N. Kozai, K. Tanaka, Y. Suzuki, F. Sakamoto, E. Kamiishi, S. Utsunomiya, *Chemical Geology*, **277**, 61-69 (2010).
- [4] N. Kozai, T. Ohnuki, F. Sakamoto, Y. Suzuki, K. Tanaka, H. Iefuji, T. Sakai, *J. Nucl. Sci. Technol.*, **48**, 1206-1213 (2011).
- [5] A. Nakao, T. Yoshida, T. Ozaki, T. Ohnuki, S. Funakawa, T. Kosaki, *J. Nucl. Radiochem. Sci.* **6**, 107-110 (2005).
- [6] 坂本、大貫、他、原子力学会和文論文誌(2012)印刷中。