

微生物コロイドについて

須 甲 武 志¹⁾

1. 微生物コロイドとは

一般に微生物の大きさに関しては諸説あるが、およそ $1\mu\text{m}$ 前後であり、同時にたいいていの場合、その表面が負に帯電しているため、微生物自身を大きめのコロイド粒子と見ることもできる。

微生物は、地下数百～千メートルの深部においても生息することが報告されており、地層処分の安定性を考える上で避けて通れない要素と認知されつつある(大貫, 2002)。微生物への附着や、リン酸塩などによる鉱物化 (biomineralization) に代表される核種と微生物の直接的な作用 (Suzuki and Banfield (2000), 大貫 (2003) など) がある一方、微生物自身が生息する環境、とりわけ地下の還元的な環境に生息する鉄還元菌がウランなどの地下水中の核種を還元し沈殿すること (Lloyd, 2003) に代表される間接的な作用もある。このように、近年、地層処分における放射性核種の移行と微生物活動との相互作用に関する研究は目覚ましい進展を遂げている。本節では、微生物の地下水中での移動に関する研究に関して、地層処分に関係しうる事柄をまとめて解説する。

2. 微生物コロイドの影響

地下水中でコロイドが移動する際、目詰まりやサイズ排斥効果のような、コロイド粒子ならではの移動現象が見られる。現場やカラム実験などによる微生物の移動に関する研究において、これらの現象が観察されたという報告がいくつかなされている。目詰まりに関して、微生物細胞自体のみならず、微生物の分泌物や代謝により生成したガスが、間隙を閉塞することが報告されている (Seki and Miyazaki, 1998)。地層処分との関連では、人工バリアで用いるベントナイト

の間隙径が、微生物体の大きさよりも小さいことから、ベントナイトの表面に微生物が集積し、目詰まりが起こる可能性 (難波ら, 2004) や、有機物の豊富な天然バリア層中で微生物が繁殖して目詰まりを起こす可能性などが示唆されている。サイズ排斥効果とは、多孔質体中においてコロイドのような通常の溶質よりも大きい粒子が、大きな間隙を選択的に移動することや、粒子径が大きいため、間隙の壁面から遠い部分、すなわち微視的な流速の大きい部分を通ること (ハイドロダイナミック・クロマトグラフィー) により、結果として溶質よりも多孔質体中を速く移動する現象である (長崎, 2003)。Harvey *et al.* (1989) は、帯水層に、自然動水勾配及び強制動水勾配下で臭素をトレーサーとして導入し、同時に蛍光染色を施した内在性の微生物や微小コロイドと臭素トレーサーとの移動の違いを、破過曲線のピークや、各物質の回収量、ピーク時間の遅延から評価した。その結果、微生物の移動がサイズ排斥効果の影響により、臭素トレーサーよりも速く移動することをつきとめた。

その他に、微生物自体の増殖や多孔質媒体への附着も考慮する必要があるだろう。Harvey *et al.* (1989) は、微生物とほぼ同じ大きさの微小コロイドでは、純粹な移動を再現することはできるが、増殖による移動の促進を再現できないことを示唆した。また、Tong *et al.* (2005a, 2005b) は、ガラスビーズや石英砂を固相とした飽和帯での微生物の移動実験を行い、移流分散方程式に吸脱着の項を加えたモデル式との比較を行った。その結果、流体中の微生物と多孔質媒体に附着した微生物との衝突や、微生物の形成するポリマーによる多孔質媒体との粘着力の低下により、コロイドのカラム内での分布に関して、予測した分布と実験結果が異なる結果となった。このように、微生物コロイドの移動には、単純にコロイドとしての移動のほか

1) 産総研 深部地質環境研究センター

キーワード: 微生物コロイド, 地層処分, 地下水

に、微生物の増殖や代謝が深く関与することが推察できる。

上で述べたほかに、実際の微生物コロイドの移動評価には、微生物の運動性も考慮する必要があるだろう。運動性をもつ微生物を水で飽和させた媒体中に流した研究はいくつかなされているが、流量が大きいほど、媒体への吸着量が大きくなる場合 (McClaine and Ford, 2002; Becker *et al.*, 2004 など)、小さくなる場合 (Camesano and Logan, 1998) の双方が報告されている。前者は、鞭毛や繊毛といった器官が表面との結びつきを強化し、脱着を防ぐように働くためだとし、後者は流速が大きくなることにより脱着が促進されるためだとしている。鞭毛が運動器官にも付着器官にもなり得ることを考えると、仮に放射性核種を吸着した微生物が地下水を移動することを考えた場合、単純に微生物のもつ運動性が放射性核種の移行を早めるとは限らないことがわかる。

また、微生物の運動性に関して、微生物の基質の濃度勾配やpH、酸化還元電位などの勾配に沿って移動する走化性 (chemotaxis) や走光性、走磁性などがあることが知られている。これらの現象と放射性核種との関係を取り上げた研究はまだ見当たらないが、鉄還元菌 *Geobacter metallireducens* に関して、不溶態の鉄 (III) 酸化物の存在する系で培養した個体は、可溶態のクエン酸-鉄 (III) 化合物の存在する系で培養した個体に比べ、鞭毛の発達が著しく、鉄還元菌の代謝産物である鉄 (II) の存在する方向へ移動することが報告されている (Childers *et al.*, 2002)。鉄還元菌は、ウランの還元および沈殿に関与していることが知られており、走化性現象が、地下深部の還元環境に影響を及ぼす可能性がある。

3. 終わりに

このように、微生物のコロイドとしてのふるまいに関して、数々の研究が報告されている。しかし、地層処分と微生物コロイドをリンクさせた研究は殆どない。放射性核種移行のシミュレーションコードに微生物項を入れる試みの中で、微生物の移動を考慮している例も見られる (Han and Lee, 1997) が、コロイド的なふるまいをコードに反映させるまでには至っていない。

また、前に述べた運動性や走化性のような、微生物コロイドが固有に持つ作用についてもまだまだ研究の余地があると考えられる。微生物分野での今後の展開が期待される。

文 献

- Becker, M. W., Collins, S. A., Metge, D. W., Harvey, R. W. and Shapiro, A. M. (2004) : Effect of Cell Physicochemical Characteristics and Motility on Bacterial Transport in Groundwater, *J. of Contami. Hydrol.*, 69, 195-213.
- Camesano, T. A. and Logan, B. E. (1998) : Influence of Fluid Velocity and Cell Concentration on the Transport of Motile and Non-motile Bacteria in Porous Media, *Environ. Sci. Technol.*, 32, 1699-1708.
- Childers, S. E., Cluto, S. and Lovley, D. R. (2002) : *Geobacter metallireducens* accesses insoluble Fe(III) oxide by chemotaxis, *Nature*, 416, 767-769.
- Han, B. S. and Lee, K. J. (1997) : The effect of bacterial generation on the transport of radionuclide in porous media, *Annals of Nuclear Energy*, 24(9), 721-734.
- Harvey, R. W., George, L. H., Smith, R. L. and LeBlanc, D. R. (1989) : Transport of Microspheres and Indigenous Bacteria through a Sandy Aquifer : Results of Natural- and Forced-Gradient Tracer Experiment, *Environ. Sci. Technol.*, 23, 51-56.
- Lloyd, J. R. (2003) : Microbial reduction of metals and radionuclides, *FEMS Microbiol. Reviews*, 27, 411-425.
- McClaine, J. W. and Ford, R. M. (2002) : Characterizing the Adhesion of Motile and Nonmotile *Escherichia coli* to a Glass Surface Using a Parallel-Plate Flow Chamber, *Biotechnol. Bioengine.*, 78(2), 179-189.
- 長崎晋也 (2003) : コロイド現象と水文移動現象, 土のコロイド現象 (足立泰久 岩田進午 編), 学会出版センター, 東京, 251-291.
- 難波謙二・宮坂 郁・加藤憲二 (2004) : 地層処分と微生物, 月刊地球, 26(7), 469-474.
- 大貫敏彦 (2002) : 地層処分における微生物の影響-研究の現状と今後の課題-, 原子力バックエンド研究, 9(1), 35-42.
- 大貫敏彦 (2003) : 酵母によるウランの鉱物化, バイオインダストリー, 20(11), 35-41.
- Seki, K. and Miyazaki, T. (1998) : Effects of Microorganisms on Hydraulic Conductivity Decrease in Infiltration, *Eur. J. of Soil Sci.*, 49(2), 231-236.
- Suzuki, Y. and Banfield, F. (2000) : Geomicrobiology of Uranium, *J. of Mineralogy*, 38 Uranium, 393-432.
- Tong, M., Li, X., Brow, C. N. and Johnson, W. P. (2005a) : Detachment-influenced Transport of an Adhesion-Deficient Bacterial Strain within Water-Reactive Porous Media, *Environ. Sci. Technol.*, 39, 2500-2508.
- Tong, M., Camesano, T. A. and Johnson, W. P. (2005b) : Spatial Variation in Deposition Rate Coefficients of an Adhesion-Deficient Bacterial Strain in Quartz Sand, *Environ. Sci. Technol.*, 39, 3679-3687.
- SUKO Takeshi (2007) : Study on biocolloid.

< 受付 : 2006年11月30日 >