

微生物の脱ハロゲン酵素は環境汚染にブレーキをかけるか？

岡山理科大学中央研究センター 八田 貴

BHC・2,4-D・DDT・PCB 等、有機塩素系化合物は人類の繁栄に貢献し、DDT の殺虫作用の発見に関してノーベル賞が授与されている。しかし、PCB の生物濃縮等に代表されるように、これら芳香族有機塩素系化合物は、その強い残留毒性のために環境汚染の主要原因となり、日本などでは使用が禁止されている。しかし、いまだ 2,4-D などは身近な家庭用除草剤の主成分であり、絶縁体等に使用されていた膨大な量の PCB は無処理のまま倉庫に山積みになっている。

このような化合物は人為起源物質であるため、生物はこれらを資化する能力を持ち合わせていなかったが、合成されて以来10数年という短期間に、ある種の微生物は遺伝子を適応・進化させ、分解・資化能を獲得してきている。実験レベルでは、圃場で BHC を連用し続けた結果、散布開始以来わずか3年目に BHC が急激に分解される現象がみられた。この土壌中に BHC を資化できる菌が認められ *Pseudomonas paucimobilis* SS86 株が分離された。この分解には 16.5 kDa のデヒドロクロリナーゼが関与し、この酵素の構造遺伝子の GC 含量は、親株の染色体 DNA の 65% に比較して 53% と非常に低く、その起源が他の生物由来のものではないかとの考えもある。¹⁾

BHC のほか冒頭に述べた化合物は、多種の微生物によって分解・資化されるが、どのようにしてこれら人為起源物質の代謝能力を獲得したのだろうか？ その酵素・遺伝学的解明は非常に興味深い問題であり、環境浄化の基礎研究としても重要であると考えられる。脂肪族塩素化合物は農薬、溶媒等に使用されているが、この代謝に関する新規な脱ハロゲン酵素が多く精製され、遺伝学的にも詳細な研究が進められている。一方、特に問題なのは PCB 等ベンゼン環に塩素置換されている場合で、これらはとりわけ生分解を受け難い。このような芳香族塩素化合物の代謝は、ベンゼン環が開裂して脱塩素されるものが多く、2,4-D 等はカテコール体を経てベンゼン環が開裂し、その後の代謝経路で塩素が遊離する。この場合の代謝関連酵素はプラスミド支配の場合もあり、酵素・遺伝子レベルでの研究が詳細になされている。一方、ベンゼン環がカテコール体を形成し難い物質の場合、これらを分解する微生物において代謝を担う酵素として、脱塩素酵素が重要な役割をもち、これによりベンゼン環から脱塩素された後に環が開裂する。4-クロロ安息香酸は PCB の代謝中間体として存在し、芳香族塩素化合物のモデル化合物として使用されているが、*Pseudomonas* 属をはじめ多くの分解菌により、代謝の第1段階で直接脱塩素される。*Pseudomonas* sp. CBS3 由来の酵素は 4-クロロ安息香酸の構造では脱塩素反応は起きず、まず、57 kDa と 30 kDa のポリペプチドからなる $\alpha\beta$ ヘテロダイマーのリガーゼにより、MgATP と CoA 共存下でカルボキシル基に CoA が導入された後、塩素が水酸基に置換する。次に 65 kDa のチオエステラーゼにより反応が完了し安息香酸が生じる。²⁾ また、木材の防腐剤として大量に使用されているクロロフェノールも重要な環境汚染物質に挙げられているが、これを資化する細菌も多く存在する。そのほとんどは代謝の第一段階に4位の塩素が水酸基置換される。³⁾ この反応に関与する酵素として、*Flavobacterium* sp. 由来のものは NADPH を補酵素とする 63 kDa のフラビン酵素のモノオキシゲナーゼで、4位の塩素が水酸基置換されることが示された。⁴⁾ また、一方では嫌気的な脱塩素に関する研究も多くされている。その1つに芳香族塩素化合物を還元的に脱塩素する嫌気性細菌で、*Desulfomonile tiedjei* DCB-1 株は、唯一純粋培養がなされた。この菌株は、ギ酸の酸化とカップルした 3-クロロ安息香酸の還元的な脱塩素により生育のためのエネルギーを得ることが示された。また、テトラクロロエチレン、ペンタクロロフェノールからも塩素が還元的に除かれる。⁵⁾ PCB に関しては、嫌気性細菌群によって塩素数の少ないより毒性の低いものへと変換されることも知られている。自然界においては、これら化合物は好気的な場合だけでなく嫌気的な条件下においても存在することが多く、広範囲の研究が期待される。

最近トリクロロエチレン等の地下水汚染が問題となっているが、これらを分解する細菌も多く単離され、微生物の進化・適応力には目をみはるものがある。しかし、このような研究が進む一方、日本では使用禁止の BHC 等の農薬は今なおインド、中国等の国で大量に使われている。微生物等による分解除去も大切だが、これら物質の地球レベルでの使用の検討が望まれる。

1) Imai, R. et al.: *J. Bacteriol.*, **173**, 6811 (1991).2) Scholten, J. D. et al.: *Science*, **253**, 182 (1991).3) Kiyohara, H. et al.: *Appl. Environ. Microbiol.*, **58**, 1276 (1992).4) Xun, L. et al.: *J. Bacteriol.*, **174**, 2898 (1992).5) Mohn, W. W. and Kenedy, K.: *J. Appl. Environ. Microbiol.*, **58**, 1367 (1992).