



微生物によるニトロ化合物の処理

竹中 慎治

微生物は、天然の化合物だけでなく人間が創り出した人工合成化合物も炭素源、窒素源およびエネルギー源として利用できる。それらの分解の過程で、一部が微生物自身の細胞構成成分となる。微生物を用いた環境浄化とは、この分解能力を利用することである。本稿では、人工合成化合物として含窒素芳香族化合物（ニトロベンゼン（NB）類）を取り上げ、その微生物代謝について紹介したい。

ニトロベンゼン類は重要な工業化学製品であり、製品（パラチオン、ジニトロクレゾールなど）および廃液を通して環境中に放出され、蓄積していると考えられている。米国陸軍環境センターは、アメリカ国内ではTNT(2,4,6-trinitrotoluene)に代表される爆発性の多置換体NB類により製造や貯蔵施設の周辺土壌が汚染されていると報告している。また、ドイツでは第二次大戦後軍需施設が撤去され民間施設となっている汚染土壌の影響は深刻であることも指摘している¹⁾。筆者はフロリダ Tyndall 空軍基地内の研究所を訪問した際、Spain らがNB類の微生物分解に関する基礎および研究室スケールの分解実験を勢力的に進めている様子を見学した。

微生物によるNBの分解経路を図1に示す¹⁾。NB (I) は還元反応、転移反応を経て2-アミノフェノール(2-AP, III)に変換される。2-APは、そのベンゼン環が直接開裂されて2-アミノムコン酸 6-セミアルデヒド (IV) が生成する。さらに、2-アミノムコン酸 (V) が4-オキザロクロトン酸 (VI) へ変換されるときに、アンモニアが遊離する。VIはさらに代謝され、TCAサイクルで炭素源およびエネルギー源として利用される。種々の細菌により、NBおよびそのカルボキシル、クロロ、メチル誘

導体なども類似した経路で完全に分解されることがこれまでにわかってきている¹⁻³⁾。この経路はカテコールを経由する既報のメタ開裂経路と類似しているが、個々の代謝酵素について基質特異性やその遺伝子の塩基配列を比較するとまったく異なっている。

微生物がNB類を炭素源や窒素源として利用するため重要な役割を果たす律速酵素は、NBを還元する酵素系、ベンゼン環開裂酵素2-アミノフェノール 1,6-ジオキシゲナーゼ (A16D) や脱アミノ酵素2-アミノムコン酸デアミナーゼ (AMD) であるといえる。NBから2-APへの変換においてムターゼは分子内基転移反応を触媒し、既報の芳香族化合物の代謝系では特異な反応である。また、有機合成ではIIは硫酸との反応で2-APではなく4-アミノフェノールが優先的に生成する点からもこの酵素反応は興味深い。A16Dは2-AP類に対して高い活性を示すのに対して、カテコール類に対してはカテコールのみわずかな活性を示す。また、A16Dは既報の類縁酵素と比較してアミノ酸レベルでの類似性も低いことから非常に特異な酵素といえる。IVから生成するVIIは*in vitro*の反応において見られる化合物であり、菌体内では代謝されない。IVおよびその誘導体は分子内脱水反応を経てピコリン酸類が高変換率で生成することからA16Dを利用した含窒素ヘテロ環化合物の合成も期待できる⁴⁾。AMDはVとのみ反応する特異な酵素であるにもかかわらず、前述のA16Dと比較して酵素の特性解析はほとんどなされていない。酵素精製のための基質調製が困難なためと思われる。

窒素原子を含む芳香族化合物の微生物代謝においてはアンモニアの遊離を伴う脱アミノ反応を経ることから、炭素、酸素、水素原子からなる芳香族化合物とは異なる特異な代謝酵素系やそれら遺伝子群が存在すると予想される。代謝過程を明らかにする過程で見いだした反応機構から得られる情報・ヒントは、本誌⁵⁾でも述べられているように微生物酵素による有用物質の生産につながると期待される。

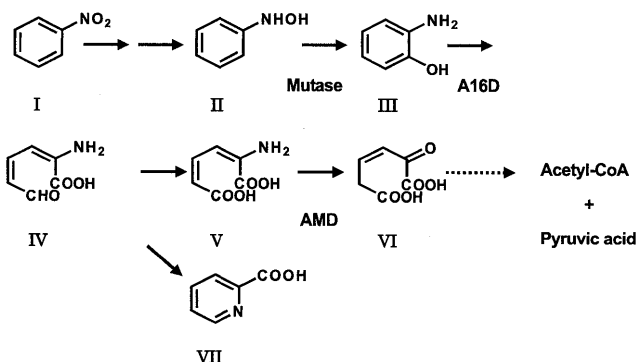


図1. 細菌によるニトロベンゼンの分解経路

- Spain, J. C. *et al.*: *Biodegradation of Nitroaromatic Compounds and Explosives*, Lewis publishers (2000).
- Muraki, T. *et al.*: *Appl. Envir. Microbiol.*, **69**, 1759 (2003).
- Wu, J.-F. *et al.*: *Appl. Envir. Microbiol.*, **72**, 1759 (2006).
- http://www.innov.kobe-u.ac.jp/sangaku01/1/1_021.pdf
- 藤原：生物工学, **85**, 376 (2007).

著者紹介 神戸大学大学院農学研究科生命機能科学専攻（助教） E-mail: hakko3@kobe-u.ac.jp