



# Phytochelatin : 生合成機構, 光反応性半導体製造への応用, および生物学的環境指標としての利用

村杉 章

動物のメタロチオネインは, 亜鉛などの重金属を結合し, これらの金属のホメオスタシスに重要であることがよく知られている. 一方, カドミウムのような有害重金属が動物体内に入り込むと, メタロチオネインの合成が誘導され, このような金属と結合して無毒化する. これに対して, 約30年前,  $Cd^{2+}$ を含む培地で培養された分裂酵母 (*Schizosaccharomyces pombe*) において, メタロチオネインとは明らかに異なるカドミウム結合性のペプチドが初めて見いだされた<sup>1)</sup>. このペプチドはcadystinと命名された. このとき, 2種類の $Cd^{2+}$ とcadystinの複合体が観察された. 後に, 一方の複合体には, それまでこの分野でまったく知られていなかった酸不安定硫黄が含まれることが発見され, これらの複合体の性質の違いが説明できるようになった<sup>2)</sup>. これらの複合体は, 主として2種のペプチドcadystin Aとcadystin Bを含んでおり, それらの化学構造は $(\gamma\text{-Glu-Cys})_3\text{-Gly}$ および $(\gamma\text{-Glu-Cys})_2\text{-Gly}$ であることが分かった. その後,  $Cd^{2+}$ 添加培地で培養されたインド蛇木 (*Rauwolfia serpentina*) など多くの高等植物の培養細胞中にcadystinの存在が確認され, ここでは植物にちなんでphytochelatinと命名された<sup>3)</sup>. phytochelatinは,  $Ag^+$ ,  $As^{5+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Hg^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ などによっても合成が誘導される. 一般式 $(\gamma\text{-Glu-Cys})_n\text{-Gly}$  ( $n$ は2以上) で表わされるphytochelatinの合成を触媒する酵素 (PCS) は, シラタマソウ (*Silene cucubalus*) の細胞に見いだされた<sup>2)</sup>. PCSはまずグルタチオンなどの $\gamma\text{-Glu-Cys}$ 残基供与体から $\gamma\text{-Glu-Cys}$ 残基を受け取ってアシル化された中間体となり, その後, その $\gamma\text{-Glu-Cys}$ 残基を受容体であるグルタチオンあるいは $(\gamma\text{-Glu-Cys})_n\text{-Gly}$ に転移させてより大きな分子を合成すると考えられる. PCS遺伝子は, シロイヌナズナ (*Arabidopsis thaliana*) や分裂酵母から初めてクローニングされた<sup>2)</sup>. 細胞内に取り込まれた $Cd^{2+}$ は, PCSを直接活性化するとされる. また $Cd^{2+}$ は細胞内無機硫黄の発生を促進し, その結果カドミウム-硫黄-phytochelatin複合体の形成が促進される<sup>2)</sup>.

$Cd^{2+}$ によって分裂酵母や他の酵母 (*Candida glabrata*)

に誘導合成されるカドミウム-硫黄-phytochelatin複合体は, 直径1~2 nmの硫化カドミウム結晶コアがphytochelatin分子によって被覆され, 安定化されたものである<sup>2,4)</sup>. このような硫化カドミウム半導体は, 量子ドットとも呼ばれ, 光反応性半導体として大きな利用価値があると考えられる. 最近ではこのような半導体量子ドットはLED, 太陽電池, および光スイッチ製作のための素材として注目されている. このナノ粒子を効率よく得るためには, 分裂酵母などの高密度培養や遺伝子工学的手法の利用が必要である. さらにナノ粒子の品質を細かく制御するためには, 単一分子量のphytochelatinを使用した細胞外での形成法開発などが必要となるだろう.

ある植物にPCS遺伝子を導入して発現させたところ, 重金属に対する耐性が増強された. このような組換え植物は, より多くの重金属を蓄積すると考えられるので, 生物学的環境修復の観点から重要である<sup>5)</sup>. その他, たとえば森林の減衰が植物に含まれるphytochelatinの含有量に関連しており, 減衰傾向のある森の植物の含有量は相対的に多く, 金属汚染が森林の減衰に関係していることが示唆された. さらに, 植物の葉におけるphytochelatinの存在量は, それらの植物の自生している土地の地下水の重金属汚染と関連していることがより詳細に示されている<sup>6)</sup>. また, ある工場の煙突からたとえば $Pb^{2+}$ や $Ni^{2+}$ などの重金属が排出されている場合, 植物の葉におけるphytochelatinの誘導合成は, 土壤汚染による影響よりも格段に強く表れる. すなわち, 大気汚染の良い生物学的指標となることも示されている. 今後, これらの分野でのphytochelatinの利用が期待される.

- 1) Murasugi, A. et al.: *J. Biochem.*, **90**, 1561 (1981).
- 2) Murasugi, A.: *Current Topics Biotech.*, **4**, 65 (2008).
- 3) Grill, E. et al.: *Science*, **230**, 674 (1985).
- 4) Krumov, N. et al.: *Chem. Eng. Technol.*, **32**, 1026 (2009).
- 5) Gisbert, C. et al.: *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, **303**, 440 (2003).
- 6) Gawel, J. E. and Hemond, H. F.: *Environ. Pollut.*, **131**, 125 (2004).