

ソテツ

竹内 道樹

ソテツ (*Cycas revoluta*) は、ソテツ科の裸子植物であり、赤い実をつける南国風の植物である。ソテツの赤い実には、デンプンが多く含まれているが、有毒な配糖体のサイカシンやマクロザミン、神経毒性のあるβ-N-メチルアミノ-L-アラニン (BMAA) も含まれている。そのため、ソテツを食するためには、水にさらすなどをして、これらの有毒な化合物を取り除かなければならない。奄美大島などでは、コウジカビによりソテツの実を解毒発酵し、有毒な化合物を分解させた食材が伝わっている。この発酵食品は、ソテツ味噌として知られている。

ソテツには窒素固定する *Nostoc* 属のシアノバクテリアが共生しているため、ソテツは、貧栄養の土地でも生育することができる。窒素固定は、空気中の窒素がニトロゲナーゼにより、アンモニアへと変換される反応であるが、ニトロゲナーゼは一般的に酸素に弱い。シアノバクテリアは、光合成により酸素を発生するため、自身の発する酸素により、ニトロゲナーゼを阻害してしまう。このため、*Nostoc* は、光合成を行う細胞とは別に、ヘテロシストと呼ばれる窒素固定を専門に行う細胞を作り、光合成と窒素固定を空間的に分けて両立している。*Nostoc* の他にヘテロシストを形成するシアノバクテリアとして *Anabaena* があげられる。*Anabaena* はアカウキクサと共生しており、*Nostoc* とソテツの関係同様に、共生的窒素固定ができるという共通点が存在する。また、*Nostoc* は、窒素の供給のみならず毒素を供給している可能性がある。

サイカシンは、摂取後、腸内細菌のβグルコシダーゼにより分解され、メチルアゾキシメタノール (MAM) が遊離する。遊離したMAMは、生体内でホルムアルデヒドとジアゾメタンへと分解され、発がん性を示すといわれている¹⁾。また、アセチル化されたMAMは、神経新生を低下させる試薬として統合失調症のモデル生物の作製に用いられている。サイカシンはUDP-グルコース

とMAMから合成される²⁾が、MAMの生合成経路は明らかにされておらず、MAMは *Nostoc* が供給している可能性がある。ソテツ以外にも多数の天然物由来アゾキシ化合物が報告されている³⁾が、いずれもN=N結合を形成する酵素は同定されていない。酸性条件下で亜硝酸が非酵素的に反応する場合や、放線菌の *Streptomyces* 属が生産する elaiomycin や valanimycin などの抗生物質のように、アミンのヒドロキシ化、生成したヒドロキシアミノ基のカルボン酸へ求核攻撃、さらに複数の反応を経由してN=N結合が形成される場合が存在する。特に、valanimycinの生合成はよく研究されており、パリンの脱カルボニルとアミノ基のヒドロキシ化により生成するイソブチルヒドロキシルアミンが、seryl-tRNAと反応する点は興味深い⁴⁾。

BMAAは、筋萎縮性側索硬化症 (ALS) の原因として疑われており、生物濃縮されたBMAAが、グアム島におけるALS/パーキンソン認知症複合 (PDC) の原因と考えられている。多くのシアノバクテリアがBMAAを合成できることから、アオコが発生する地域などにおいて、BMAAが生物濃縮され、地域特異的なALSの発症を引き起こすことが懸念されている。*Nostoc* は、BMAAを合成できることから、ソテツにBMAAを供給すると考えられていた。しかし、滅菌状態のソテツがBMAAを合成できることが示されたため、現在では、ソテツ自身が合成していると考えられている⁵⁾。ただし、*Nostoc* が共生しているソテツに、*Nostoc* 由来のBMAAも含まれている可能性は否定されていない。ソテツ、*Nostoc* いずれも図1に示すような経路に従ってBMAAが合成されると考えられている。

ソテツをはじめとして、身近に存在する多くの動植物が、多様な微生物と共生しているが、共生細菌の単離培養の難しさや共生状態と非共生状態の違いなどから、その詳細はほとんど明らかにされていなかった。しかし、最近では、網羅的な解析手法が確立され、共生状態の微生物の特異な代謝を解明できるようになったことから、宿主と共生細菌のユニークな代謝に今後さらに注目が集まるだろう。

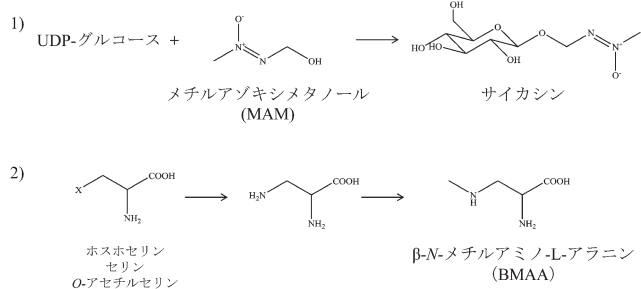


図1. サイカシン (1) とBMAA (2) の生合成経路

- 1) 守田則一：民族衛生, **76**, 235 (2010).
- 2) Tadera, K. et al.: *Phytochemistry*, **38**, 1199 (1995).
- 3) Blair, L. M. and Sperry, J.: *J. Nat. Prod.*, **76**, 794 (2013).
- 4) Garg, R. P. et al.: *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **105**, 6543 (2008).
- 5) Krüger, T. et al.: *J. Endocyt. Cell Res.*, **22**, 29 (2012).