

世界には1億6千万haの水田が存在し、年間6億9千万トンの米が生産されている。その約9割はアジアに存在し、米を主食とするアジアの人々にとって、水田は必要不可欠な農耕地である。一方で、水田が温室効果ガスであるメタンの主要な発生源の一つであることはよく知られている。近年の気候変動に関する関心の高まりから、これまでに水田におけるメタン生成機構やメタン生成アーキアについて多くの研究が行われてきた。メタン生成アーキアは産業的な利用の面からも注目されているが、ここでは、温室効果ガス生産者としての水田のメタン生成アーキアについて紹介したい。

水田の大きな特徴は、水稻栽培期間の大半が湛水状態にあることである。結果として、土壌は嫌氣的で還元的な環境になり、有機物はさまざまな過程を経て最終的にメタンと二酸化炭素まで分解される。メタン生成アーキアは、唯一メタンを生成する微生物であり、すべてArchaea（アーキア）ドメインのEuryarchaeota門に属する。Bergey's Manual 2nd Edition²⁾には、メタン生成アーキアは5目10科26属76種の菌が記載されている（現在では6目に分類されている）。

水田環境中のメタン生成アーキアは、古くは培養法により、また近年では環境中の菌のDNAあるいはRNAを直接対象とした分子生物学的手法により主に解析されてきた。これまでに、4目（Methanobacteriales, Methanosarcinales, Methanomicrobiales, Methanocellales）にまたがる7属（Methanobacterium, Methanobrevibacter, Methanosarcina, Methanosaeta, Methanoculleus, Methanospirillum, Methanocella）より菌が分離されている。一般に、メタン生成アーキアがメタン生成に利用する基質として水素と二酸化炭素あるいは酢酸があげられるが、これまでに分離された酢酸資化性のメタン生成アーキアはMethanosarcina属とMethanosaeta属に限られる。したがって、水田土壌中における酢酸からのメタン生成には、これらの菌が関与すると考えられる。一方で、多くのメタン生成アーキアは水素と二酸化炭素を基質としたメタン生成を行うが、水田では主に種間水素転移によりメタンが生成されると考えられている。種間水素転移は、有機物の嫌氣的な分解過程において、中間代謝産物である有機酸の分解の結果生じる水素を、有機酸分解水素生成菌と水素消費菌（メタン生成アーキア）の間でやり取りする反応である。この反応は、有機酸分解反応が阻害されない程度の低水素

濃度と、水素消費菌が生育可能な限界水素濃度以上の間でのみ進行する。これまでは、実際の土壌中とは極端に異なる高水素濃度条件下で菌が分離されてきたが、最近、できるだけ低い水素分圧で有機酸分解水素生成菌と共培養することで、メタン生成アーキアグループの一つ（Rice cluster I）に属する新規なメタン生成アーキアMethanocella paludicola SANAE株が水田土壌より分離された³⁾。この集積培養方法により、水田以外の環境からもこれまで以上に多様なメタン生成アーキアを集積できることが示されており⁴⁾、きわめて有効な集積培養方法と言える。

しかし、水田にはまだ多くの未培養菌が存在することが分子生物学的解析から推察されている。たとえば、MethanomicrobialesやMethanosarcinalesに属する菌である。これらの菌は水田土壌中でのメタン生成に寄与すると推定されるが⁵⁾、その生理的な性質は不明なままである。今後、新規分離法やゲノム解析により新規メタン生成アーキアの生理的・生態的性質が明らかになることが期待される。

以上のように、水田にはさまざまなメタン生成アーキアが存在している。土壌環境が不均一で複雑であること、水稻光合成産物・稲わら・堆肥などさまざまな有機物が水田に供給されること、湛水・落水など水田特有の圃場管理により土壌環境が変化することなどが、多様なメタン生成アーキアの生息場所となりうる理由かもしれない。近年、水田に生息するメタン生成アーキアの系統的多様性は、異なる水田間でもある程度類似していること、また、他の環境と異なる特有の菌相が存在することが示された⁶⁾。地理的に遠く離れ、土壌や気候も異なる場所で、なぜ水田には特有のメタン生成アーキア相が形成されるのか、また、それらの菌は元々どこに生息していたのかは大きな疑問である。このようなことから、菌の進化と環境の関係について探してみるのも面白いかもしれない。

- 1) Conrad, R.: *Adv. Agron.*, **96**, 1 (2007).
- 2) Boone, D. R. and Castenholz, R. W.: *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*, 2nd edn., vol. 1, Springer (2001).
- 3) Sakai, S. et al.: *Appl. Environ. Microbiol.*, **73**, 4326 (2007).
- 4) Sakai, S. et al.: *Appl. Environ. Microbiol.*, **75**, 4892 (2009).
- 5) Watanabe, T. et al.: *Soil Biol. Biochem.*, **41**, 276 (2009).
- 6) Watanabe, T. et al.: *Biol. Fertil. Soils*, **46**, 343 (2010).