

「環境微生物学」章末問題 解答例

第1章 (p.9)

①ホイタッカーの5界説では、まず原核生物を「モネラ界」としており、これには細菌とアーキアが含まれる。次に、真核生物は「原生生物界」「菌界」「植物界」「動物界」に分類されている。真核生物のうち、構造が単純なものは「原生生物界」として扱われ、粘菌などがこれにあたる。残りの「菌界」「植物界」「動物界」は、栄養の摂取様式（吸収、光合成、捕食）の観点から分類されている。

②共通点：いずれも16S rRNA遺伝子をもつ原核生物である。細胞のサイズも同程度であり、形態からは区別がつかない。

相違点：細菌の16S rRNA遺伝子の共通配列は、アーキアの共通配列と大きく異なる。また、細胞膜を構成する脂質にも相違点があり、細菌はグリセリンと脂肪酸がエステル結合した「エステル脂質 (ester lipid)」を有するのに対し、アーキアはグリセリンとイソプレノイドアルコールがエーテル結合した「エーテル脂質 (ether lipid)」である。

③生態系の中で環境微生物は、おもに「分解者」の役割を担う。高分子の有機物を低分子に分解したり、無機物に変換したりする。一方で、環境微生物には無機物から有機物を合成するものも知られており、「生産者」の一面もある。たとえば、大気中の二酸化炭素 (CO_2) を固定する光合成細菌がこれにあたる。このように、環境微生物の役割は多様である。

第2章 (p.22)

①自然界において、窒素や硫黄は、固体、液体、気体の3態を経て循環しており、この循環にかかる時間は比較的短い。一方、リンに関しては、リン鉱石からリンが溶出する速度とリン鉱石が生成される速度に大きな開きがある。リン鉱石は短時間ではほとんど再生されない。

②自然界の窒素循環では、アンモニアから亜硝酸への酸化反応が律速であり、アンモニアが蓄積する傾向がある。

③生物が利用する主要6元素 (C, H, O, N, P, S) の循環には、いずれも環境微生物が寄与している。たとえば、炭素の循環では、カビによるセルロースの糖化や、酵母による単糖の発酵などが挙げられる。窒素の循環では、タンパク質がペプチドやアミノ酸に分解される反応を環境微生物が担っている。

第3章 (p.39)

- ①VNC とは **viable but nonculturable** の略であり、生命活動はしているものの、通常のプレート法などでは培養ができない状態を指す。詳細は p.23 を参照されたい。
- ②利点：取り扱いが簡単であり、解析もしやすい。生きた状態の微生物を扱うことで、資化性や増殖速度などの情報が得られる。また、死菌を解析対象から排除できる。
欠点：培養をともなうため、結果を得るまでに時間がかかる場合が多い。また、VNC のように培養が困難な微生物が存在したり、栄養成分や温度によって生育してくる微生物種に偏りがでたりするため、環境試料中のすべての微生物を検出できない場合がある。したがって、培養をともなって微生物コンソーシアムを解析すると、環境試料中の微生物の群集構造を正確に把握できない可能性がある。
- ③生菌・死菌を区別するには、蛍光活性染色法やエステラーゼ活性を利用した解析法などがある。詳細な原理などは p.27 を参照されたい。

第4章 (p.62)

- ①詳細は p.45 の図 4-2 などを参照されたい。
- ②一例をあげると、p.44 に示すように酸素発生型の光合成生物や硫酸還元菌などが、地球上の酸素の発生、増加、蓄積に寄与したと考えられている。
- ③一例として、森林における炭素循環とエネルギーの流れを述べる。森林では植物の光合成によって有機物が生産され、太陽光からのエネルギーが貯蔵される。植物の枯死により、植物遺体が土壤に堆積すると、昆虫や原生動物、および環境微生物によって分解を受ける。この際、これらの生物は植物遺体から炭素とエネルギーを獲得する。分解によって生成される二酸化炭素は再び大気へ戻り、資化されなかった有機物は土壤に堆積する。堆積が進んで嫌気的環境になると、有機物は嫌気的な分解を受け、メタンや二酸化炭素となって大気へ放出される。

第5章 (p.81)

- ①好氣的反応：タンパク質が基質の場合、ペプチドやアミノ酸がおもな生成物である。糖質や脂質の場合は、二酸化炭素がおもな生成物である。
嫌氣的反応：糖質や脂質が基質の場合、おもには低級脂肪酸（ギ酸、酢酸、酪酸など）やアルコール（エタノールやブタンジオールなど）、二酸化炭素が生成される。非常に還元的な環境では、メタン生成アーキアによってメタンが生成される。

②ゾウリムシとクロレラの関係も相利共生である。ゾウリムシの細胞内に共生するクロレラは、光合成を行ってゾウリムシに糖分を供給する。一方のゾウリムシは、クロレラに窒素やリンを供給し、相利共生の関係が成り立っている。

そのほかには、シロアリと腸内細菌の共生関係なども挙げられる。詳細は p.21 のコラムを参照されたい。

③硝化はアンモニアから亜硝酸を経由して硝酸が生成される一連の反応を指す。脱窒は硝酸イオンから亜硝酸イオン、一酸化窒素、亜酸化窒素を経由して分子状窒素が生成される反応である。詳細は p. 70～72 を参照されたい。

第6章 (p.89)

①タンパク質の立体構造がより安定になるように、二次構造や三次構造、サブユニット間の相互作用が強固であると考えられる。また、熱ショックタンパク質 (heat shock protein) が発現するまでの時間が短く、立体構造が変性したタンパク質の修復が行われやすい好熱菌も知られている。

②梅干しは高塩濃度であるとともに、pH も低いため、微生物が非常に生育しにくいと考えられる。

③衣類用洗剤はアルカリ性であるため、好アルカリ微生物が分泌する酵素（アルカリ域で機能する酵素）が配合されている。具体的には、プロテアーゼ（タンパク質分解酵素）、リパーゼ（脂質分解酵素）、アミラーゼ（糖質分解酵素）、セルラーゼ（セルロース分解酵素。繊維内部の汚れを落とす）などが含まれている。

第7章 (p.103)

①地球温暖化のように長期にわたって環境が変化する場合（たとえば、気温や雨量が上昇・増加する場合）は、環境変化に適応できない微生物が減少するとともに、変化した環境に適応できる微生物の割合が徐々に高まっていくと考えられる。

一方、環境汚染物質の流入などにより、急激に環境が変わった場合には、微生物の数や種類が減少する。ただし、汚染物質を資化できる微生物は増加するため、その環境に生息する微生物の群集構造が大きく変化する可能性がある。

②かつて自然の浄化能力に頼っていた排水は、人口の増加や産業の発展とともに有機汚濁物質の排出量が増し、浄化処理を必要とするレベルとなった。活性汚泥法は人工的な水質浄化方法であり、微生物による有機物の分解活性を通気によって高めるものである。活性汚泥法が広く利用されるようになってからは、水質が大幅に改善されるようになった。

③産業革命以前の環境汚染といえば、ヒトや家畜からの排泄物による水質汚染がおもなものであり、自然の浄化能力で十分まかなえる程度の有機汚濁物質しか含まれていなかった。しかし、人口が増加したり、都市部の人口密度が上昇すると、自然の浄化能力ではまかなえなくなり、②と同様に排水処理技術が必要になった。

産業革命以降は、動物から排出される有機汚濁物質以外に、人工的に合成された化学物質や有害物質が大量に生産・廃棄され、それらによる大気、水質、土壌の汚染が顕在化した。さらに、高度経済成長により人々の暮らしが物質的に豊かになるにつれ、その汚染は拡大し、公害を生むこととなった。

第8章 (p.125)

①好気的環境では、環境微生物による有機物の分解速度は比較的速い。一方、嫌気的環境では分解速度が比較的遅いが、還元的な環境でしか分解されない物質も除去することができる。

②油脂分解菌や炭化水素分解菌には、バイオサーファクタント (biosurfactant ; 生物由来の界面活性剤) を分泌し、油分を乳化して、菌体と基質の接触効率を高めるものがある。また、基質濃度がより高い方へ移動する能力 (= 走化性) を有する *Pseudomonas* 属細菌なども知られている。

③汚染の原因物質を資化できる微生物のみが生存する傾向となる。特に、汚染物質に毒性がある場合、多くの環境微生物は耐性がないために減少していく。そのため、環境微生物の群集構造が大幅に変化する。

なお、原因物質が分解・浄化されることでも、環境微生物の群集構造は変化する。

第9章 (p.145)

①メリット：処理に投じるエネルギー量が、物理的浄化手法に比べて少ない。残土が発生しない。比較的広範囲にわたる汚染（タンカー事故による海洋汚染など）にも適用できる。

デメリット：土壌の温度、含水率、通気性などによって汚染物質の浄化が左右されやすい。また、処理時間が長いことや、高濃度の汚染には対応できないといったデメリットがある。

②バイオオーグメンテーションを行う場合は、投与する微生物の動植物への毒性や病原性、自然環境中での生残性などを把握し、土着の生態系へおよぼす影響を評価しておく必要がある。また、バイオスティミュレーション、バイオオーグメンテーションともに栄養成分を投与するが、この栄養成分によって周囲環境の水質（地下水など）を汚染しないか、土着の病原菌などが増殖しないかなどを考慮する必要がある。

- ③微生物数を維持するには、担体への固定化をはじめ、菌体の追加投与、栄養成分の補充などが有効である。特に、微生物固定化担体を利用すると、菌体密度が高まるため、基質との接触効率が改善し、汚染物質の分解・除去が進みやすい。また、分解反応を促進するメディエーターの投与によって分解活性を高める手法もある。

第10章 (p.156)

- ①培養が必要な解析法では、培養条件に適応した微生物種が優先的に増殖するため、解析できる環境微生物に偏りが生じてしまう。そのため、対象となる環境の微生物全体をモニタリングするのか、あるいは特定の環境微生物のみをモニタリングするのかによって結果が大きく異なる。どのような環境微生物あるいは機能に着目するかが、微生物モニタリングでは重要である。
- ②上述のとおり、培養が必要な解析法では微生物種に偏りが生じるおそれがある。そのため、測定対象の環境から DNA や RNA を抽出し、環境 DNA 解析法や PCR-DGGE、T-RFLP などの分子生物学的手法で解析することにより、微生物コンソーシアムに含まれる微生物種全体の挙動を把握できる。
- ③水圏では、有機汚濁物質の濃度によって大きく異なるが、自然水には概ね $1 \times 10^4 \sim 10^5$ cells/mL 程度の細菌が生息している。一方、農地土壌では $1 \times 10^9 \sim 10^{10}$ cells/g のレベルである。なお、一定濃度以上の有機汚濁物質が存在すると、水圏、土壌環境ともに細菌数が減る傾向が見受けられる。

第11章 (p.164)

- ①土壌粒子の表面は負に帯電している (p.48 参照)。したがって、硝酸イオンを与えても土壌に保持されにくく、雨水で流亡してしまう可能性がある。硫酸アンモニウムは、アンモニウムイオンとして土壌中に保持されやすく、土壌中に存在するアンモニア酸化細菌や亜硝酸酸化細菌により、硝酸へと変換されるため、窒素肥料として利用されている。
- ②有機農法では堆肥を、化学農法では化成肥料を与える。前者は徐々に分解されて肥料成分となるが、後者は一度に多量の肥料成分が供給される。この違いが農作物の生育や成分に影響している可能性がある。また、化学農法の場合、土壌中の有機物が供給されずに少なくなるため、微生物の生育が制限される。その結果、根圏の微生物叢が影響を受け、植物生長に影響をおよぼすことが考えられる。
- ③主要な肥料成分のうち、最も枯渇が懸念されているのはリンである。リン肥料はほとんどがリン鉱石から生産されるため、現状のままではリン鉱石の可採年数分しかリン肥料を供給できない。

また、リン鉱石は産地が偏っており、食料を安定に生産するうえで問題がある。

一方、肥料や工業製品として利用されたリン成分は、排水に含まれていたり、湖沼に沈殿していたりする。このようなリン資源はわが国でも多く「埋蔵」されている。現在は、いかにこれら排水や沈殿物中のリン成分を除去するかが課題となっているが、今後は貴重なリン資源として回収する手法の構築が必要であろう。ポリリン酸蓄積菌 (p.78 参照) の活用は、その一つとして注目されている。

第 12 章 (p.178)

①海洋性の微細藻類や、非可食性のエネルギー作物を休耕地で栽培することで、食料と競合しないエネルギー生産が可能であると考えられる。一例として、セルロース系バイオマスを栽培して酵素で単糖に糖化し、微生物を用いてエタノールなどのエネルギーに変換する技術が挙げられる。

②バイオエタノールの製造では、微生物や微生物が生産する酵素を用いて糖質バイオマスを糖化し、得られた単糖を酵母が嫌気発酵してエタノールを生産する。糖質バイオマスには、サトウキビのほか、トウモロコシといったデンプン系の作物が利用されているほか、スイッチグラス（多年生の草）やコーンストーバー（トウモロコシの茎）などのセルロース系バイオマスの活用も検討されている。セルロース系の作物を利用する場合には糖化工程が鍵となるので、分解効率の高いセルラーゼの探索や、糖化されやすい作物の開発が進められている。

バイオガスの製造は、微生物が関連する 2 つのプロセスから成り立っている。第 1 段階では、嫌気性微生物のコンソーシアムがさまざまなバイオマス（タンパク質、糖質、脂質）を嫌気的に分解し、有機酸や二酸化炭素などを生成する。第 2 段階では、有機酸や二酸化炭素を利用して、メタン生成アーキアがメタン発酵を行い、メタンを約 6 割含むバイオガスが生成される。さまざまなバイオマスをエネルギー資源として活用できる点がバイオガスの利点であるが、反応速度が遅いことや、発酵残渣の処理などが課題となっている。

③長所：エネルギーが必要な地域に合わせて、原料となるバイオマスを選択することができ、エネルギーの「地産地消」を実現できる。また、カーボンニュートラルであり、副生する廃棄物も堆肥などとして有効利用できる。

短所：エネルギーの供給量を、需要に合わせてフレキシブルに変えることが難しい。また、気候などの自然要因の影響を受けやすい。そのほか、化石資源と比べてエネルギー密度が低く、輸送に適していないなどが挙げられる。

以上