

問1.

①渦鞭毛藻類であり、日本で問題になる麻痺性貝毒 (PSP: paralytic shellfish toxins)の原因藻である。産生する毒素はサキシトキシンやゴニオトキシンなどである。その作用機作はフグ毒 (テトロドトキシン)とよく似ており、神経細胞膜のナトリウム (Na<sup>+</sup>) チャンネルブロッカーとして作用し、痺れ、運動障害、呼吸障害などを引き起こす。

②渦鞭毛藻類であり、下痢性貝毒 (DSP: diarrhetic shellfish poisoning)の原因になる。これも日本で問題になっている貝毒の代表格である。原因毒素はオカダ酸やディノフィシストキシンなどで、下痢、嘔吐、腹痛などの消化器系障害を引き起こす。これらの物質は加熱に強く、熱変性ににくい。

③珪藻類であり、記憶喪失性貝毒 (ASP: amnesic shellfish poisoning)を引き起こす。これは日本では大きな問題には未だなっていないが、日本の沿岸域にも類縁種が生息する。この記憶喪失を引き起こす原因物質はドーモイ酸と呼ばれるものでアミノ酸の中のグルタミン酸と構造が似ており、記憶伝達物質として働くグルタミン酸にこのドーモイ酸が取って代わるために障害が起こる。

問2.

①生態系のこと。生態系とはある地域に住むすべての生物とその地域内の非生物的環境をひとまとめにして、主として物質循環やエネルギー流に注目して捉えた機能系のこと。

②大型珪藻類。本藻が赤潮を起こすと、ノリと無機栄養塩の競合的取り込みが起こり、ノリの色落ち現象が起こる。ノリ養殖に甚大な被害を及ぼす。

③Chemical Oxygen Demand 化学的酸素要求 (または消費) 量のこと。水や泥などの環境試料中の有機物量の指標のひとつ。一定の強力な酸化剤 (過マンガン酸カリウムなど) により酸化される物質量を酸化に必要な酸素量に換算して示したもの。

④heterotrophic nano-flagellates。従属栄養性微小鞭毛虫類のこと。細菌を捕食する。この HNF の発見により、従来、分解者としてのみ注目されてきた細菌が、有機物の固形粒子 (細菌細胞) として HNF に捕食され、それがより高次の動物プランクトンに捕食され、溶存態の有機物が再び高次の食物網に組み込まれていることが判明した。このエネルギーの流れを微生物ループと呼ぶ。

⑤生物遺体や生物由来の破片や微生物の遺体、あるいはそれらの排泄物を起源とする微細な有機物粒子のことであり、通常、表面や内部に活発に増殖する微生物群集を伴う。マリンスノーはデトリタスの一種であり、サイズが 500 μm 以上の有機凝集体のことである。その生成起源は様々であり、大きさ・形状・密度によって異なるが、通常 10~100 m/day の速度で沈降する。デトリタスでは、周囲の海水に比べると生物由来の有機物濃度が 2~4 桁高くなっている。有光層にあるデトリタスの場合、クロロフィル含量や光合成による一次生産量が、やはり周囲の海水よりも 2 桁以上高い。細菌数もデトリタス内の付着細菌が 10<sup>8-9</sup> cells/ml なのに対して、周囲の海水では 10<sup>4-6</sup> cells/ml であり、やはり 3 桁ほど高くなっている。ただし、水深 200~1000 m の中深層になるとマリンスノーが稀 (0.4~5.0 aggregates/m<sup>3</sup>) なので、付着細菌が周囲の 100 倍以上存在していても、海洋生態系への貢献度は水柱の浮遊細菌に比べるとさほど重要ではない→0.01~0.39%。

⑥植物プランクトンなどの一次生産者が光合成を行って生きていけるだけの光エネルギーが透入している水層のこと。植物プランクトンなどの光合成生物の「光合成>呼吸 (酸素供給がプラス)」となることである。その深さは海氷表面から透入した太陽エネルギーの可視光線の 1% が到達する水深ま

であることが経験的に知られており、清澄な外洋域で水深 150 m くらいまでである。

問 3.

①photosynthetically available radiation の省略形。光合成有効放射のこと。波長が約 400~700 nm の範囲にある可視放射であり、植物プランクトンの光合成に主に利用される波長帯である。

②practical salinity unit の省略形。電気伝導度を測定して塩分に換算する実用塩分の単位の代わりになる。

③海産動物プランクトンのカイアシ類のこと。海産甲殻類のなかで最も海洋で優占している。量的に最も多い。

④南極オキアミの学名。南極海生態系では一次生産者の植物プランクトンの上に位置する重要な動物プランクトンであり、より高次の動物の主要な食糧源である。

⑤遊泳生物。水生動物で水の流れに逆らって遊泳する能力を有するものの総称。魚類、エビあるいはクジラなどを指す。

問 4.

① 呼吸    ② H<sub>2</sub>O    ③ (CH<sub>2</sub>O)    ④ O<sub>2</sub>

問 5. 海水の総面積：3.61×10<sup>8</sup> km<sup>2</sup>、有光層の平均水深 200 m (=0.2 km)、海洋細菌 1 細胞(cell)の重量：2.00×10<sup>-13</sup> g、海中の海洋細菌の平均細胞密度：1.00×10<sup>9</sup> cells/L。有効数字二桁。

有光層の海水の総体積は、7.22×10<sup>19</sup> L

海水 1L に存在する海洋細菌の重量は 2.00×10<sup>-13</sup> × 1.00×10<sup>9</sup> = 2.00×10<sup>-4</sup> g/L

したがって、有光層の全海水中に含まれる海洋細菌の重量は、

2.00×10<sup>-4</sup> (g/L) × 7.22×10<sup>19</sup> (L) = 1.444×10<sup>16</sup> (g) = 1.444×10<sup>13</sup> (kg)

1 Mt = 10<sup>6</sup> kg だから 1.444×10<sup>13</sup> (kg) = 1.444×10<sup>7</sup> (Mt)、

有効数字二桁 (1 点) だから、1.4×10<sup>7</sup> (Mt)

答え：有光層の全海水に含まれる海洋細菌の総重量は 1.4×10<sup>7</sup> (Mt) である。

問 6.

1) 海面水温の長期変動でもっとも知られているのがエル・ニーニョである。栄養塩の豊富な低温の沿岸湧昇水の代りに貧栄養な表層暖水が優勢になる現象である。これは元々神の子という意味のスペイン語である。南米のエクアドルからペルーの沿岸域では、北半球の夏季にあたる時期、強い貿易風の影響で表層水がインドネシアの方向へ押しつけられ、その影響により深層の硝酸塩やリン酸塩などの栄養塩の豊富な深層の冷水が湧昇する。また南から北上してくるフンボルト海流の影響もあって、赤道付近にもかかわらず表面水温が比較的低く栄養塩の豊富な水域が形成される。この豊富な硝酸塩やリン酸塩と太陽エネルギーを利用して、この水域では植物プランクトンが活発に増殖し、その植物プランクトンを餌にするカタクチイワシが大量に集まり、そのカタクチイワシを捕食するグアノ鳥類が集まる。グアノとはスペイン語で鳥糞という意味であり、このグアノは硝酸塩やリン酸塩などの栄養塩が豊富で畑の肥料として利用されている。ところが北半球の冬季になると貿易風が弱まり、表層の栄養塩が少ない貧栄養な暖水が移動しにくくなり、湧昇が起こらず、植物プランクトンが沿岸域で増殖できず、カタクチイワシが減り、グアノ鳥類も減り、浜は休漁期に入る。これがクリスマスのごころに起こるのでエル・ニーニョという。通常、三、四ヶ月 (12~3 月) で終わるエルニーニョが、4 月以降も長引き、漁獲量の減少だけではなく、様々な地域で旱魃や豪雨をもたらすなど異常気象を引き起こすことが判明し、最近ではこの異常気象現象をエル・ニーニョまたはエル・ニーニョイベントと呼ぶ。

2) 琵琶湖南湖はリン酸、アンモニア、硝酸が豊富で富栄養化しており、初夏にかけて真核生物の緑藻類が赤潮を起こす。緑藻類の細胞数が増加した結果、**アンモニアや硝酸などの窒素源が枯渇**するが、**リン酸は豊富**に存在するという水質状態が形成される。窒素源が枯渇しているため、真核細胞性の植物プランクトンは増殖できない。ここで登場するのが、**窒素固定能**により大量に存在する窒素ガス  $N_2$  を直接利用することのできる**原核生物**のラン藻類アナベナ属である。このような環境条件の変化に伴う植物プランクトン種の入替わりを**遷移**と呼ぶ。窒素固定を行うためには**ニトロゲナーゼ**という酵素の働きが必要だが、この酵素は酸素に触れると不可逆的に失活する。酸素発生型の光合成を行うアナベナ属は、連鎖した細胞に等間隔で窒素固定を専門に行う**ヘテロシスト**という異形細胞を形成する。このヘテロシストでは光合成回路の一部が消失しており、光合成による酸素発生がなく、ニトロゲナーゼに都合の良い嫌気状態が保たれるのである。

問7. 解答例) 植物プランクトンのサイズが小さいのは、**有光層に留まるため**だと考えられる。陸上の樹木はより沢山の日射を受けるため上へ上へと光合成器官のある葉を広げる。海でそのような進化適応をしたとするとどうなるか。陸上と異なり海洋で光合成を行うことができる有光層は水深 100~200 m である。植物はこの有光層にとどまる必要がある。もし、陸上の樹木のような進化を海洋の植物が遂げたとすると、海洋の平均水深が 3800 m で、有光層は深くても 200 m だから、その下の 3600 m がいわゆる木質部として存在することになる。これはエネルギーの供給が難しく、このような進化は不可能である。海洋の植物にとって大事なことは有光層にとどまり続けることであり、そのために細胞サイズを小さくしているのである。細胞サイズを小さくすると表面積：体積の比が大きくなり摩擦抵抗が大きくなって**沈降速度が小さくなる**。細胞サイズが小さいとレイノルズ数も小さく、沈降速度が小さくなる。通常、直径  $2 \mu m$  の粒子の蒸留水中での沈降速度が 10 cm/8 時間であるのに対して、直径  $62 \mu m$  の粒子では 10 cm/30 秒になる。細胞サイズが小さいと一つの個体を生み出すのに必要なエネルギーが小さくなり、より速い増殖が可能になる。細胞サイズが小さいと捕食されやすいが、それを補う速さで増殖することが可能なのである。自然条件では細胞サイズが小さいと乱流の影響を受けやすくもあり、これも有光層に留まるのに有利に働いている。