

科目記号	科目名
C	海洋環境科学

解答（解答例）・出題の意図

出題内容：海洋化学

出題番号 75

【解答例】

（１）海水をガラス繊維フィルターでろ過、ろ液に酸を加えて炭酸を除去、そのろ液中の有機物を酸化燃焼して発生した二酸化炭素の量を測定して溶存態有機炭素を測定。ろ液に酸を加えて発生した二酸化炭素の量を測定して、溶存無機炭素（炭酸）を測定。ろ紙に酸を加えたのち、ろ紙を酸化燃焼して発生した二酸化炭素の量を測定して、粒子状有機炭素を測定。

（２）海水に対する二酸化炭素の溶解度とは、海水と大気中で二酸化炭素が平衡状態にあるときの、大気中二酸化炭素分圧と海水中二酸化炭素濃度の比率のことである。海水中二酸化炭素濃度を、溶解度（mol/L/atm）で割ることで、海水の二酸化炭素分圧が求められる。

（３）海水温が上昇すると、二酸化炭素の溶解度が低下して、海水中の二酸化炭素分圧が上昇する。海水温が低下すると、二酸化炭素の溶解度が上昇して、海水中の二酸化炭素分圧が低下する。炭酸カルシウム粒子の形成が起これば、海水のアルカリ度が低下して、海水中の二酸化炭素分圧が上昇する。

【出題の意図 海洋化学 75】

海洋環境科学では、海洋物質循環が一つの大きなテーマである。特に炭素循環が注目される。その中で、大気海洋間の二酸化炭素交換の仕組みを理解していることが大事である。二酸化炭素交換の物理的な仕組みとして、溶解度、平衡状態の意味を知る必要がある。また、どのような条件で、二酸化炭素の交換が起こるのかを理解することも欠かせない。これらの基本を問う問題である。

出題番号 76

【解答例】

- (1) 亜熱帯の亜表層（表層に比べたら、高濃度）、高生産域の表層から亜表層、海底付近
- (2) 植物プランクトン、大型藻類、クラゲ、魚類の体表面粘性物質、、などに由来。
- (3) 透明細胞外重合粒子にピコプランクトンが付着、それを大型のプランクトンが食べるように、ピコプランクトンから直接高次生物に栄養を受け渡す役割り。透明細胞外重合粒子が他の有機物粒子を絡めとり、海洋深層へ有機炭素を輸送する役割り。

【出題の意図 海洋化学 76】

海洋環境科学では有機炭素輸送が大事である。有機物粒子のなかでも、粘性多糖類（高分子有機物）に関して、海洋物質循環に与える影響を問う問題である。さらに、その粘性多糖類について、海洋生態に与える影響へ視野を広げられることを問う問題を加えた。

出題内容：海洋物理学

出題番号 81

【解答例】

(1) 変数が u , w , p , ρ の 4 つで、方程式が 4 つなので、 w 以外の変数を順に消去すれば、 w に関する方程式が得ることができる。教科書的には・

まず、②_tに④を代入して ρ を消去し、⑤を用いて ρ_0 を N^2 で表現した w - p の関係式を A とする。次に、①_xに③を代入して u を消去し、得られた w - p の関係式を B とする。最後に、 $A_{xx} + B_{zz}$ より p が消去されて、⑥式が得られる。

(2) (1)ができなくても、⑦式を⑥式に代入して整理すれば・・・

$\sigma^2 = N^2 k^2 / (k^2 + m^2) = N^2 k^2 / K^2$ の分散関係式が得られる。ここで、 $K^2 = k^2 + m^2$ とおいた。

(3) $k > 0$, $m > 0$ の場合の分散関係式は、 $\sigma = Nk/K > 0$ なので

x 方向の位相速度 $C_x = \sigma/k = N/K > 0$ (2 点)

z 方向の位相速度 $C_z = \sigma/m = Nk/mK > 0$ (2 点)

x 方向の群速度 $C_{gx} = \partial\sigma/\partial k = \dots = Nm^2/K^{3/2} > 0$ (2 点)

z 方向の群速度 $C_{gz} = \partial\sigma/\partial m = \dots = -Nkm/K^{3/2} < 0$ (2 点)

(4) 両者が直交しているか否かは、両ベクトル成分の内積をとれば良い。よって、 $k \times C_{gx} + m \times C_{gz}$ を計算すれば、確かに零となり、両者は直交していることがわかる。

【出題の意図】

非回転系流体の基本方程式を用いて、海洋中における内部波の分散関係式（周波数と波数の関係式）を導き、この導出された式から、内部波特有の分散性（位相速度と群速度の関係）が証明できる。

【解答例】

(1) ①式を時刻 t で微分し、②式を代入すると下記に示す微分方程式（解答）を得る。

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + f_0^2 u = 0 \quad \text{③}$$

(2) ③式は、単振動の式であり、東向き流速 u の一般解は $u = a \sin f_0 t + b \cos f_0 t$ ④ と表される。②式に④式を代入すると、北向き流速 v の一般解 $v = a \cos f_0 t - b \sin f_0 t$ ⑤ を得る。④⑤の一般解に初期条件「 $t = 0$ で、 $u = 0, v = V_0$ 」を代入すると $a = V_0, b = 0$ を得て、下記の解答を得る。

$$u = V_0 \sin f_0 t, \quad v = V_0 \cos f_0 t$$

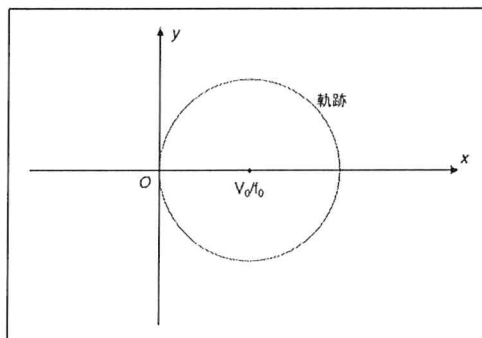
(3) (2) で得られた流速を積分し、位置に関する初期条件を代入すると、下記の流体粒子の軌跡（解答）を得る。

$$x = \frac{V_0}{f_0} (1 - \cos f_0 t) \quad y = \frac{V_0}{f_0} \sin f_0 t$$

この軌跡に $\sin^2 f_0 t + \cos^2 f_0 t = 1$ を組み合わせると下記の2次式

$$\frac{\left(x - \frac{V_0}{f_0}\right)^2}{\left(\frac{V_0}{f_0}\right)^2} + \frac{y^2}{\left(\frac{V_0}{f_0}\right)^2} = 1$$

流体粒子の軌跡は下図で表される。



【出題の意図】

進学後に海洋物理学に関する研究を希望する受験者が、進学後にこの分野を研究するために必要な考えと知識を身につけているかを確認するため、海洋物理学の理論に関する基礎的な問題を出題した。

出題内容：海洋環境科学

出題番号 115

【解答例】

- (1) (A)が亜寒帯、(B)が熱帯域、(C)が日本海。(C)は水深700m以深の酸素濃度が他の海域よりも高く鉛直的に一様で、日本海固有水の特徴が見られるから日本海。(A)と(B)では、表層水温が低く、飽和溶存酸素濃度の高い亜寒帯域の方が、表層の酸素濃度が高いため、(A)が亜寒帯で(B)が熱帯域の鉛直構造と判断される。
- (2) 酸素極小層と呼ばれる。海面付近で生産された有機物は落下しながらバクテリアによる分解を受け、その過程で酸素が消費される。このため、有光層や表層混合層以深では酸素消費量が供給量を上回り、酸素濃度が深さとともに低くなる。また、深層には南極などの高緯度域で沈み込んだ酸素濃度の高い海水が広がっている。このため、水深数百メートルから千メートル付近で溶存酸素濃度が低くなっている。
- (3) 有機物が分解される際、酸素を消費するが、同時に無機栄養塩が水中に放出されるため、栄養塩と溶存酸素の量は相反する傾向にある。また、植物プランクトンが増殖する際、栄養塩を利用するので栄養塩量が減少し、同時に光合成により酸素を放出するため溶存酸素の量は増加する。すなわち、生産においても分解においても、両者の量は相反する。

【出題の意図】

進学後に海洋環境科学講座での研究を希望する受験者は海洋環境科学を選択すると考えられる。海洋環境科学講座では研究の主軸を海洋の基礎的な知識に基づいた海洋環境学においている。進学後にこの分野を研究するために必要な考えと知識を身につけているかを確認するため、この分野に深く関連する海水中の溶存酸素濃度（出題番号115）についての問題を出題した。

【解答例】

- (1) (A) $50 \times 325 \times 10^6 \times 10^6 / 10^6 = 1.625 \times 10^{10} \text{ tC/yr}$
 (B) $100 \times 36 \times 10^6 \times 10^6 / 10^6 = 3.6 \times 10^9 \text{ tC/yr}$
 (C) $300 \times 0.36 \times 10^6 \times 10^6 / 10^6 = 1.08 \times 10^8 \text{ tC/yr}$

- (2) (A) $1.625 \times 10^{10} \times 0.1^4 = 1.625 \times 10^6 \text{ tC/yr}$
 (B) $3.6 \times 10^9 \times 0.15^2 = 8.1 \times 10^7 \text{ tC/yr}$
 (C) $1.08 \times 10^8 \times 0.2 = 2.16 \times 10^7 \text{ tC/yr}$

外洋域は面積は広いが、低次生産は低いうえ栄養段階数が多いため、マグロ類などの高次生物の資源量は多くなれず、乱獲が起きると数が減りやすい。一方湧昇域は、面積は狭いが低次生産が高いうえ栄養段階数が少ないので、高次生物（例えばイワシ類）の資源量は比較的豊富である。

- (3) 例 1：ペルー沖。南半球であるため大陸の西岸で北向きの風（南風）が吹くと、エクマン輸送により表層の海水は西、すなわち岸から沖に向かって移動する。すると、少なくなった海水を補うように、深層から大陸の斜面を伝わって海水が湧昇してくる。これは沿岸湧昇と呼ばれる現象である。湧昇する際に、下層の栄養塩を有光層に運ぶため、一次生産が大きくなり、豊かな生態系が築かれ、魚類生産も高い。

例 2：河川水が多く流入する沿岸域。エスチュアリー循環が発達し、上層と下層の水が逆方向に流れることで混合が起き、下層の海水が上層に運ばれ、湧昇が起きる。その際下層の栄養塩も有光層に取り込まれるので、亜表層（中層）でクロロフィル極大が形成される。

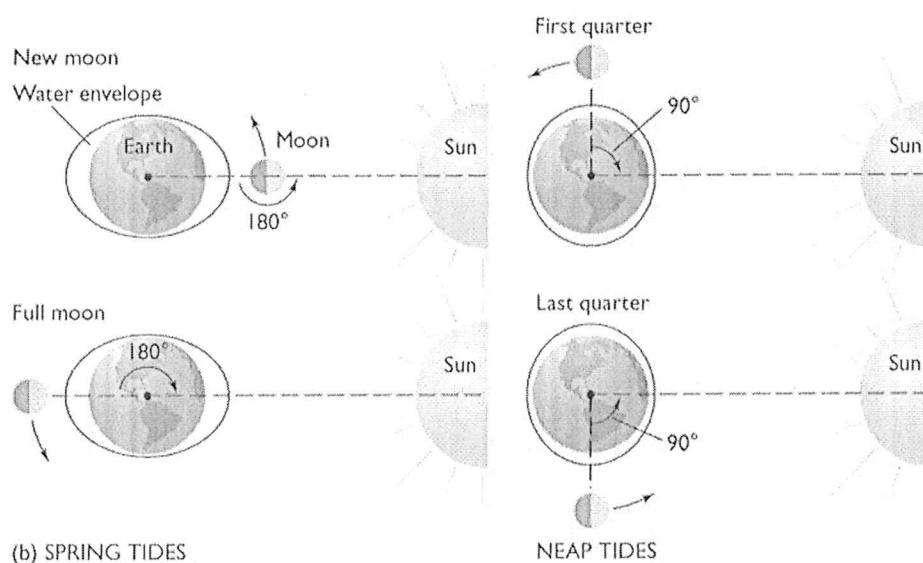
【出題の意図】

進学後に海洋環境科学講座での研究を希望する受験者は海洋環境科学を選択すると考えられる。海洋環境科学講座では研究の主軸を海洋の基礎的な知識に基づいた海洋環境学においている。進学後にこの分野を研究するために必要な考えと知識を身につけているかを確認するため、この分野に深く関連する生態系（出題番号 116）についての問題を出題した。

出題番号 117

【解答例】

- (1) a)は24時間で2回ずつの正のピーク・負のピークを迎えている為、約12時間の周期性があり半日周潮。b)は24時間で1回ずつの正のピーク・負のピークを迎えている為、約24時間の周期性があり日周潮。
- (2) 11日頃：一月の中で潮位変化が最も大きい期間なので大潮。16日頃：一月の中で潮位変化が最も小さい期間なので小潮。図は下図の通りで太陽と月の引力が同方向に働く場合（満月 or 新月）が大潮時。太陽と月の引力が90度ずれて働き互いに打ち消し合う場合（上弦 or 下弦）の時が小潮時。満月・新月、上弦・下弦はそれぞれ1枚でも良い。



(3) 起潮力 = $\frac{GM_m}{(R-r)^2} - \frac{GM_m}{R^2} = G \frac{M_m R^2 - M_m (R-r)^2}{(R-r)^2 R^2}$

式は万有引力の式から距離の違いから差を取ったもの。二項のままでも良い。

- (4) 問題文中に与えた太陽・月の質量と距離の比を取れば、下記式が得られる。

$$\frac{F_{Ts}}{F_{Tm}} = \frac{M_s}{M_m} \left(\frac{R_m}{R_s} \right)^3 \quad \text{月:太陽}=1:0.46$$

$$\begin{aligned} \text{太陽質量} &= \frac{1.99 \times 10^{30} \text{ kg}}{7.35 \times 10^{22} \text{ kg}} \left(\frac{3.84 \times 10^5 \text{ km}}{1.50 \times 10^8 \text{ km}} \right)^3 \\ &= 0.46 \end{aligned}$$

月質量 1au(太陽-地球)

【出題の意図】

潮汐は沿岸生態系への影響が最も大きい海洋現象の一つであり、その基本となる事項を問う問題としている。起潮力を数式で示すことにより、天体間距離と天体質量の影響を単純な比例・反比例の関係式で見る事ができ、その影響力の割合を太陽・月の場合で簡単に求める事ができる。

【解答例】

(1)

1. 藻類の成長

ダストによって栄養成分が海洋に供給されるため藻類の成長を促す。

2. 赤潮の大発生

ダストの鉄分によって、劇的な海水の化学変化が起きる。鉄分の供給によって藍藻による大規模プランクトンブルームが起き、浅海域において窒素濃度上昇をもたらした。窒素濃度上昇は赤潮の引き金になったと言われている。

3. 微生物の輸送

アフリカのサヘル地帯の土壌にはバクテリアやウイルス、その他微生物が含まれる。それらのいくつかは病原体で、フロリダやカリブ海に生息するウミウチワ（海藻）に感染し、殺してしまった可能性が報告されている。

(2)

黄砂

黄砂は、中国大陸内陸の砂漠や乾燥地帯において風で巻き上がった塵や砂が、偏西風に乗って北太平洋に飛来する。春に多く観測される。

【出題の意図】

海洋環境科学講座では、海洋と大気間での物質交換について着目した研究を展開している。その中で、大気経由で海洋に供給されるダストは海洋物質循環において重要な位置付けとなっている。進学後にこの分野を研究するために必要な考えと知識を身につけているかを確認するため、大気から海洋や陸域に供給されるダストが生態系に与える影響に関して問う問題を出題した。