

平成29年度 名古屋大学大学院環境学研究科
地球環境科学専攻 大気水圏科学系
博士課程(前期課程) 普通入試 筆記試験問題

【専門科目】

試験日時: 平成28年8月23日(火) 13:30~16:30

(注意事項)

- (1) 解答開始の合図があるまでこの問題冊子を開いてはならない。
- (2) 下記の7科目のうちから2科目を選択し、解答しなさい。
 - ・地球環境学 ・地球物理学 ・地球化学
 - ・物理学 ・化学 ・生物学
 - ・数学
- (3) 解答用紙は問題冊子とは別に配布する。
- (4) 解答用紙は各科目につき2枚ずつである。「物理学」・「生物学」については、問題ごとに別の解答用紙を使用すること。
- (5) 解答用紙は所定の枚数以上を使用してもかまわない。配布された解答用紙では不足する場合、監督者まで申し出ること。
- (6) 解答用紙のすべてに受験番号および科目を記入すること(氏名は記入しない)。
- (7) 解答には黒の鉛筆かシャープペンシルの使用を推奨する。
- (8) 試験に際して、監督者が配付する電卓を使用してもよい。
- (9) 携帯電話やPHSの電源を切ってカバン等にしまうこと。身につけていてはいけない。
- (10) 試験時間は13時30分から16時30分までである(開始後30分までは入室可)。
- (11) 試験中に気分が悪くなるなど、必要な場合は監督者に申し出ること。
- (12) 試験問題の内容に関する質問は一切受け付けない。
- (13) 試験終了後、問題冊子は持ち帰ってよい。

・選択した2科目を○で囲みなさい。

地球環境学	地球物理学	地球化学	物理学
化学	生物学	数学	

・下欄に受験番号と提出する解答用紙の枚数を記入し、この表紙を問題冊子から取り外して、解答用紙の上に重ねて提出しなさい。

受験番号		提出する解答用紙の枚数	枚
------	--	-------------	---

地球環境学

以下の問題 1～問題 2 を全て解答しなさい。

問題 1 人間活動による窒素利用は、地球環境の窒素循環に影響を与えている。図 1 は陸域生態系における窒素循環図、図 2 は 1850 年から 2000 年までの世界人口と全球における窒素肥料年間生産量の推移図である。以下の文を読み、問 1～問 4 を全て解答しなさい。

窒素は地球上の生物に不可欠な元素であるが、大気中の N_2 ガスは窒素固定菌を除き、多くの生物は利用できない (図 1)。①1900 年代初頭に大気中の N_2 ガスを固定する工業的手法が開発され、全球的な窒素肥料生産量が劇的に増大した (図 2)。世界の人口は、②緑の革命による食料生産量の増大とともに急激に増加した。

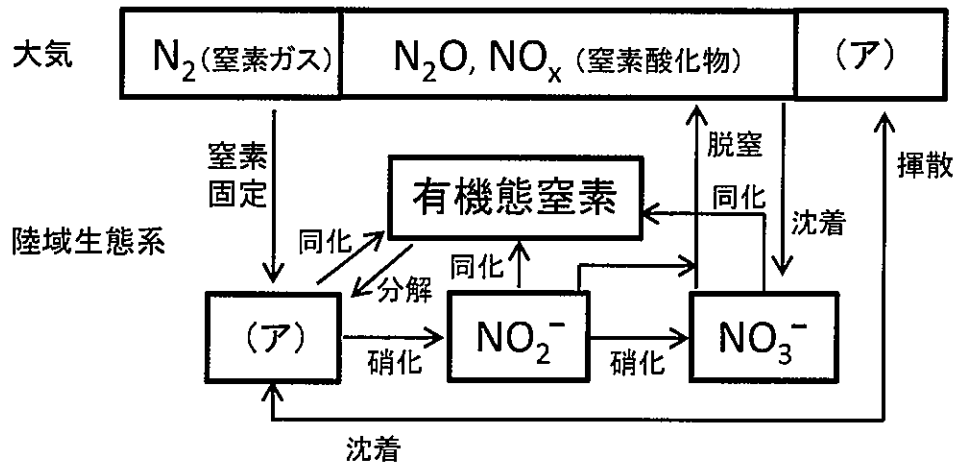


図 1 陸域生態系における窒素循環図

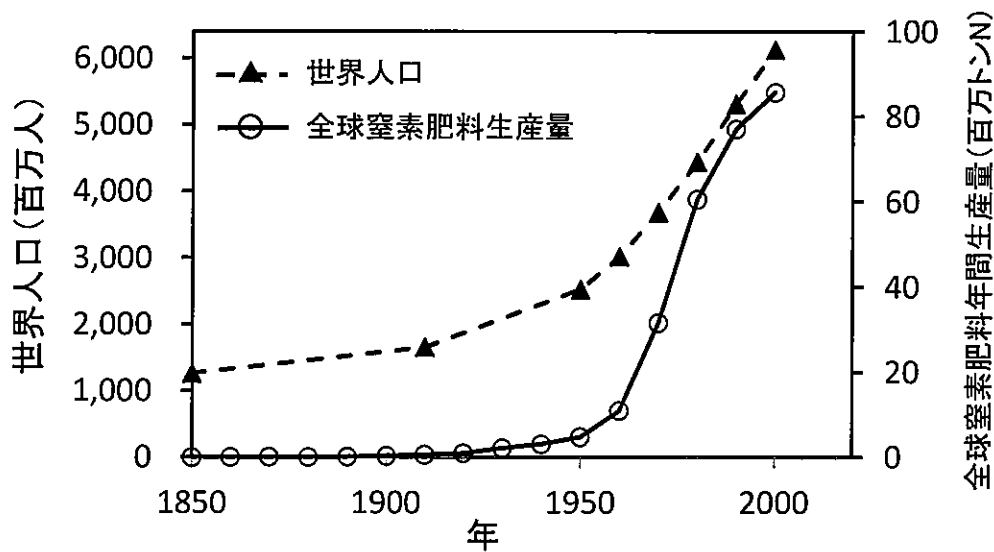


図2 1850年から2000年までの世界人口と全球における窒素肥料年間生産量の推移。
 トンNとは窒素重量換算した窒素肥料生産量の単位。
 (Dawson and Hilton 2011を改変)

- 問1 図1の(ア)にあてはまる物質は、大気および陸域生態系において、分子とイオン両方の形態で存在する。それぞれの化学式を書きなさい。
- 問2 文中の下線部①について、人為的な窒素固定量の増大が陸域および海洋の生態系に与える影響を、例をあげて説明しなさい(まとめて400字程度)。
- 問3 文中の下線部②「緑の革命」を実現させた要因を三つ以上あげ、「緑の革命」について説明しなさい(まとめて50字程度)。
- 問4 持続可能な循環型社会を実現させるために、窒素循環の観点から、今後、全球的に解決すべき点と国内で解決すべき点について論じなさい(まとめて200字程度)。

問題 2 黄砂は、中国やモンゴルなどの乾燥地で大気中に舞い上がり、遠く離れた風下域に落下する細かな砂じんのことである。図3は、東アジアにおける黄砂の発生・輸送・沈着過程を示している。この過程とそれが地球環境に与える影響に関して、以下の問1～問3を全て解答しなさい。

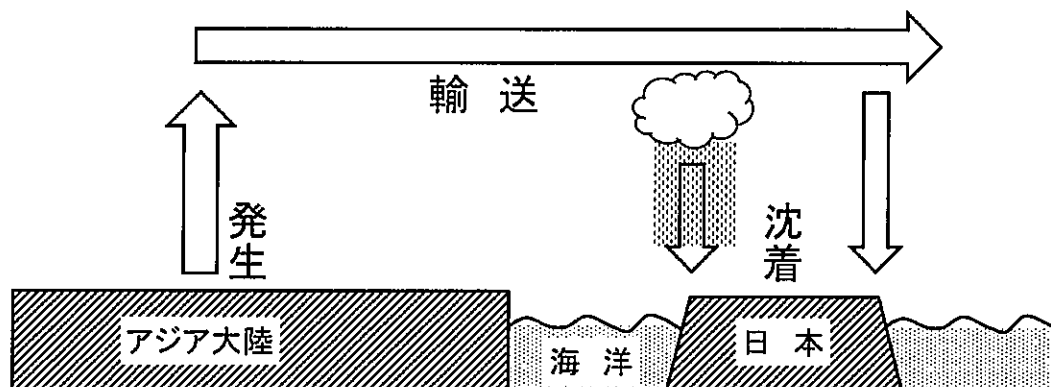


図3 黄砂の発生・輸送・沈着過程の模式図。

- 問1 図3に示された黄砂の輸送過程において、黄砂が大気中のエアロゾルとして気候に与えると考えられる直接効果および間接効果について説明しなさい（まとめて100字程度）。
- 問2 黄砂の発生には、発生域の気象や地表面状態が影響を与えている。東アジアの草原地域では黄砂の発生頻度が春に極大となるが、この季節性を支配している気象および地表面状態について説明しなさい（まとめて100字程度）。
- 問3 黄砂の鉱物粒子が、陸域や海洋の生態系に沈着し、影響を与えている可能性がある。日本やその周辺における、陸域および海洋生態系への影響について例をあげて説明しなさい（まとめて100字程度）。

地球物理学

次の問題に解答しなさい。解答用紙には計算過程も書きなさい。

問題 静力学的平衡にある大気において地表付近の未飽和空気塊を準静的かつ断熱的に上昇させると、乾燥断熱減率 ($\Gamma_d = -dT/dz$, ここで T は気温, z は高度) に従って空気塊の温度が低下する。空気塊が持ち上げ凝結高度に達した後、さらに上昇する場合、空気塊の温度変化は湿潤断熱減率 (Γ_m) に従う。また、空気塊が持ち上げ凝結高度に達した後にさらに上昇する場合には水蒸気が凝結し液体の雲粒を形成するとして、以下の問1～問5を全て解答しなさい。

問1 以下の小問(1)および(2)に解答しなさい。

大気における熱力学の第1法則は定積比熱 C_v を用いて、

$$\Delta Q = C_v \Delta T + p \Delta \alpha \quad [1]$$

と表すことができる。ここで、 ΔQ は熱量の微小増加、 ΔT は温度の微小増加、 p は気圧、 $\Delta \alpha$ は比容 α ($\alpha = \rho^{-1}$, ρ は密度) の微小増加量である。ここで扱う大気は理想気体として、状態方程式 $p\alpha = RT$ (R は気体定数) が成り立つ。

(1) [1] 式の右辺の各項の物理的な意味を説明しなさい。(150字以内)

(2) C_v が定積比熱と呼ばれる理由を [1] 式から説明しなさい。(100字以内)

問2 乾燥断熱減率 Γ_d を問1の [1] 式から導出しなさい。ただし、重力加速度 g と乾燥空気の定圧比熱 C_p ($= C_v + R_d$, R_d は乾燥空気の気体定数) を用いること。

問3 空気塊の上昇により気温 T が $T + \Delta T$, 気圧 p が $p + \Delta p$, 飽和水蒸気混合比 w_s が $w_s + \Delta w_s$ と変化する。また、飽和水蒸気圧 e_s は気温に対して単調に増加する関数であり、気温の微小変化により $e_s + \Delta e_s$ となる。

以下の小問(1)および(2)に解答しなさい。

(1) 湿潤断熱過程では、熱力学の第1法則において発熱量 ΔQ が近似的に以下の式 ([2] 式) のようになることを導きなさい。

$$\Delta Q \approx -L \left(\frac{\varepsilon de_s}{p dT} \Delta T - w_s \frac{\Delta p}{p} \right) \quad [2]$$

ここで L は水蒸気の凝結潜熱、 $\varepsilon = R_d/R_v = M_v/M_d$ (R_v は水蒸気の気体定数、 M_d は乾燥空気の分子量、 M_v は水蒸気の分子量) である。

(2) [2] 式を用いて湿潤断熱減率と乾燥断熱減率の比 (Γ_m / Γ_d) を導きなさい。

問4 大気の安定度に関する以下の小問 (1) および (2) に解答しなさい。

- (1) 大気の静的安定度とは何かを説明しなさい。(100字以内)
- (2) 次に、湿潤大気の静的安定度を考える。図1のI, II, IIIの鉛直温度プロファイルをもつ三種類の大気に対して、高度0にある空気塊を準静的かつ断熱的に持ち上げたときの安定度をそれぞれ説明しなさい。(300字以内)

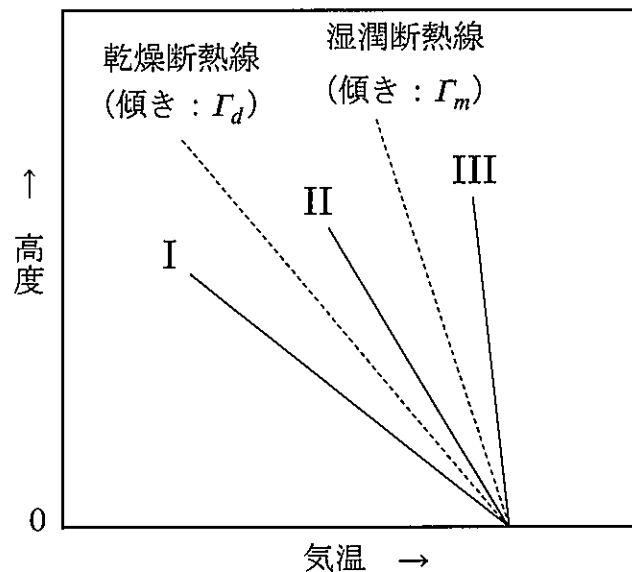


図1. 大気の鉛直温度プロファイル (I, II, III : 実線).
破線は乾燥断熱線と湿潤断熱線を示す.

問5 湿潤大気について、以下の小問 (1) および (2) に解答しなさい。

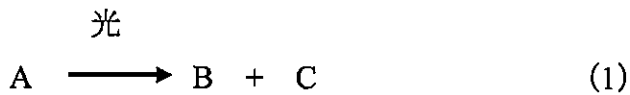
- (1) 気圧 1000 hPa, 温度 30 °C, 相対湿度 80 %の空気塊の水蒸気の質量混合比を有効数字3桁で求めなさい。ただし M_d は 28.960, M_v は 18.016 とする。
- (2) この空気塊 1 kg を準静的かつ断熱的に持ち上げるとやがて持ち上げ凝結高度に達する。この空気塊をさらに湿潤断熱的に 2 km 上昇させた。その時の飽和質量混合比を有効数字3桁で計算し、それまでに凝結した水の質量を求めなさい。ただし、空気塊は過飽和状態にならないとする。また、持ち上げ凝結高度における空気塊の温度を 26 °C, $\Gamma_m = 5 \text{ } ^\circ\text{C km}^{-1}$ とし、上昇後の気圧は 750 hPa であるとする。気温と飽和水蒸気圧の関係については以下の表を用いること。

気温 (°C)	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
飽和水蒸気圧 (hPa)	14.03	15.98	18.16	20.61	23.37	26.40	29.82	33.65	37.78	42.43

地球化学

問題 1～問題 3 を全て解答しなさい。

問題 1 容積が一定の反応容器に入れた気体成分 A に光を照射すると、反応 (1) のように気体成分 B と気体成分 C に分解した。この反応は一次反応である。ここで、A の濃度を $[A]$ 、反応 (1) の光解離定数を k 、時間を t 、A の初期濃度 ($t = 0$) を $[A]_0$ とする。これ以外の反応は無視できるものとして、以下の問 1～問 6 に答えなさい。解答用紙には答えの導出過程も書きなさい。



問 1 $[A]$ の変化する速さ ($d[A]/dt$) を、 k と $[A]$ を用いて表しなさい。

問 2 時間 t が経過した後の $[A]$ を、 $[A]_0$ と k 、 t を用いて表しなさい。

問 3 $[A]$ が半分になるのに要する時間 $t_{1/2}$ (半減期) を、 k を用いて表しなさい。

問 4 全圧が 1.01×10^5 Pa、温度が 298 K の状態で、 $[A]_0$ は体積混合比で 100 ppbv (ppbv = 10^{-9}) であったとする。この $[A]_0$ を分子数密度 (molecules cm^{-3}) で答えなさい。

ただし、気体はすべて理想気体であり、アボガドロ定数は $6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ 、気体定数は $8.31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ とする。

問 5 k が $4.00 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ であるとして、A の分子数密度が問 4 で求めた $[A]_0$ から $9.05 \times 10^{11} \text{ molecules cm}^{-3}$ まで変化するのに要する時間を求めなさい。

問 6 太陽光による気体成分の光解離は、連鎖的な化学反応を引き起こす場合がある。気体成分の光化学反応により引き起こされる大気環境問題の具体例を一つ挙げなさい。また、その原因となる気体成分の名称を答えなさい。

問題2 海洋に関する以下の問1～問6に答えなさい。

問1 以下の括弧内に示す海水中の溶存イオンのうち、平均濃度が 10 mmol L^{-1} を越える成分をすべて選びなさい。

(Mg^{2+} , PO_4^{3-} , Br^- , NO_3^- , Cl^-)

問2 問1で挙げた溶存イオンの深度分布として適切なものを、図1の(a)と(b)から選び、五つの成分それぞれについて記号で答えなさい。

問3 図1のような深度分布が生ずる理由を、(a)と(b)それぞれについて50字程度で答えなさい。

問4 全海洋への Ca^{2+} の供給速度が $2.08 \times 10^{13} \text{ mol yr}^{-1}$ 、海水中 Ca^{2+} の平均濃度が 10.3 mmol L^{-1} 、海洋の体積が $1.35 \times 10^9 \text{ km}^3$ であるとする。海水中の Ca^{2+} が定常状態にあり濃度は変化していないものと仮定して、海洋における Ca^{2+} の交換時間（平均滞留時間）を求めなさい。

問5 海水の移動速度や循環速度を調べるのに適した化学トレーサーを一つ挙げ、この化学トレーサーを用いた調査手法を200字以内で答えなさい。

問6 年代が既知の海底堆積物から過去の海洋環境を知るには、どのような手法を用いるか。一つ例を挙げ、その原理を100字程度で説明しなさい。

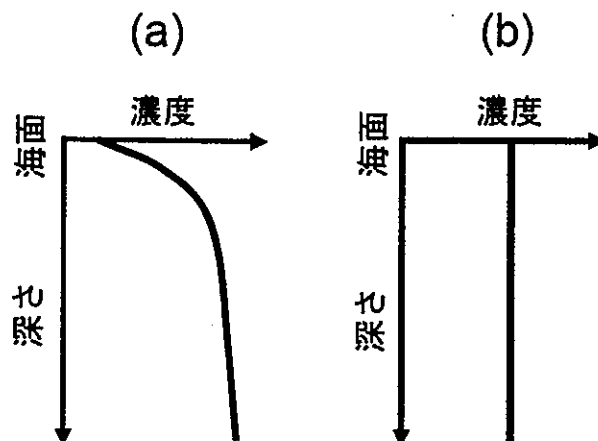


図1 海水中における濃度の深度分布

問題3 SO_4^{2-} は雨水に含まれる主要な溶存イオンの一つである。一般に、雨水中の SO_4^{2-} 濃度は $0.5\sim 20\text{ mg L}^{-1}$ 程度である。以下の問1～問2に答えなさい。

問1 雨水に含まれる SO_4^{2-} の濃度を定量するにはどのようにすればよいか。手法を一つ挙げ、測定原理と測定手順の概要を合わせて200字程度で説明しなさい。

問2 雨水に含まれる SO_4^{2-} 中の硫黄(S)に関して、地球表面から大気へ放出されるときに主要放出(供給)源を二つ挙げなさい。またそれぞれについて、大気へ放出される時の硫黄の化合物名を答えなさい。

物理学

以下の問題 1～問題 2 を，それぞれ別の解答用紙に分けて，すべて解答しなさい。

問題 1 進行方向に対して逆回転させた（いわゆる「バックスピン」をかけた）球の運動を考える。

質量 M ，半径 a の密度が一様な球がある．この球の重心を通る軸に関する慣性モーメントは $I = (2/5)Ma^2$ である．図 1 に示すように，この球を，粗な水平面に沿って時刻 $t = 0$ において射出する．このとき，重心を通る軸のうち，水平面内にあり，かつ，進行方向に垂直な軸の回りに，球を図の向きに回転させる．時刻 $t = 0$ における重心の速度を v_0 ，重心の周りの角速度を ω_0 とする．時刻 t における重心の速度を v ，重心の周りの角速度を ω とする．ここで， v ， ω は図の矢印の向きを正とする．球と水平面との間に滑り摩擦は生じるが，ころがり摩擦は無視するものとする．重力加速度の大きさを g とする．以下の問 1～問 3 に答えなさい。

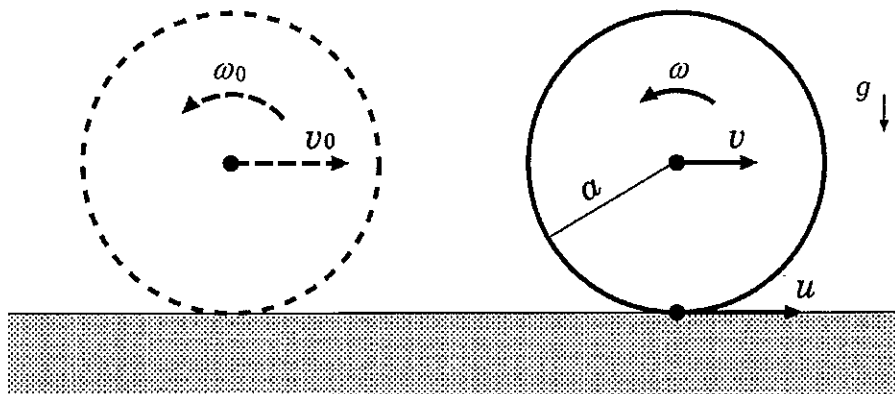


図 1. 進行方向に対して逆回転させた球の運動

問 1 射出されてからしばらくの間，球は水平面上を滑りながら進行する．球が滑っているときの球の運動について，以下の小問 (1)～(3) に答えなさい。

球と水平面との間にはたらく摩擦力の動摩擦係数を μ とする。

- (1) 球と水平面との接触点における球面の水平面に対する相対速度 u を， v と ω を用いて表しなさい。
- (2) 球の重心の並進運動および球の重心の周りの回転運動に関する運動方程式をそれぞれ記述しなさい。
- (3) 初期条件を満たすように (2) に記した運動方程式を解き，球が滑りながら運動しているときの v ， ω ， u を求めなさい。

問2 ある条件で球を射出したとき、球がしばらく前進した後に、並進運動と回転運動とが同時に停止した。この場合に v_0 と ω_0 が満たす関係を求めなさい。

問3 ある条件で球を射出したとき、球がしばらく前進した後に、進行方向を逆向きに変えて後退を始めた。この場合の球の運動について、以下の小問(1)～(3)に答えなさい。

(1) この場合に v_0 と ω_0 が満たす関係を求めなさい。

(2) 球が進行方向を逆向きに変えて運動を始めた後に、球と水平面との接触点における球面の水平面に対する相対速度 u が 0 となる時刻 t' を求めなさい。そのときの速度 v' 、角速度 ω' を求め、 v' 、 ω' の正負を示しなさい。

(3) 時刻 t' 以降に成立する球の重心の並進運動および球の重心の周りの回転運動に関する運動方程式を記し、それらを解いて時刻 t' 以降の球の運動を説明しなさい。

問題2

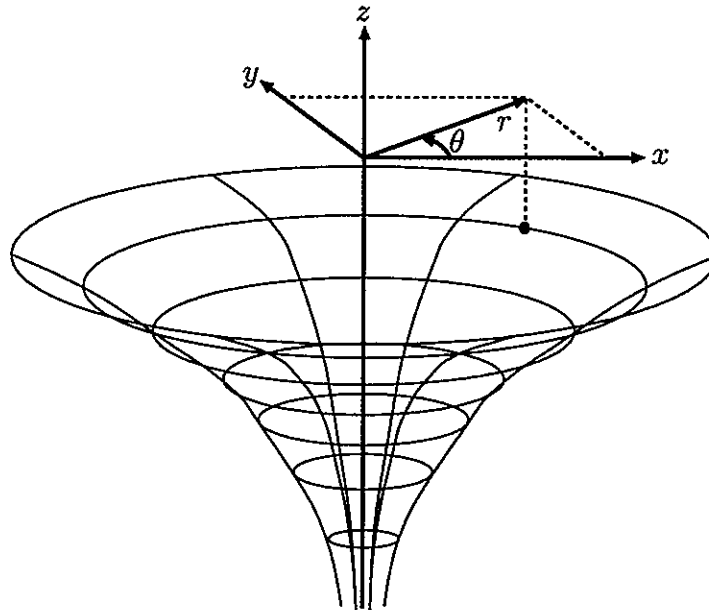


図2. 曲面上の質点と座標系の模式図

図2のように、鉛直上向きに置かれ静止している開口型軸対称曲面がある。この曲面上をなめらかに滑って動く1つの質点がある。質点と曲面の間の摩擦によるエネルギーの損失は無視できることとする。質点の位置を3次元直線直交（デカルト）座標系を用いて (x, y, z) と表す。 x と y が水平方向の座標で、 z が鉛直方向の座標である。さらに円筒座標系を使って、質点の水平方向の位置を

$$x = r \cos \theta, \quad y = r \sin \theta, \quad [1]$$

のように表す。つまり r が z 軸からの距離（以下、動径と呼ぶ）、 θ が x 軸から反時計まわりに測った角度である。特に指示のない限り、開口型軸対称曲面の形状は $z = h(r)$ のように一般的な形で表す。

曲面の等高線に沿って、質点を放しその後の運動を考察する。質点の運動方程式は、質点の質量 m 、重力加速度の大きさ g 、曲面からの抗力の動径方向成分の大きさ $M (> 0)$ と鉛直方向成分の大きさ $N (> 0)$ を用いて、次のように表すことができる。

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -M \cos \theta, \quad [2]$$

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = -M \sin \theta, \quad [3]$$

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} = N - mg. \quad [4]$$

抗力ベクトルは曲面の法線ベクトルと平行で、質点の速度ベクトルは曲面の法線ベクトルと垂直であることから、

$$\frac{M}{N} = \frac{dh}{dr} = \frac{(dz/dt)}{(dr/dt)}, \quad [5]$$

という関係式が成り立つ。式 [1]～[5] を使って問1～問3に答えなさい。

問中にてでくるドット記号の意味は任意の物理量 A について $\dot{A} = dA/dt$ および $\ddot{A} = d^2A/dt^2$ である。また角運動量ベクトルの鉛直方向成分を単純に角運動量と呼ぶことにする。

問1 小問 (1) ~ (2) に答えなさい。

- (1) 質点の力学的エネルギー (運動エネルギーと位置エネルギーの和) が保存することを示しなさい。
- (2) 質点の角運動量 $m(x\dot{y} - y\dot{x})$ が保存することを示しなさい。

問2 小問 (1) ~ (3) に答えなさい。

- (1) 任意の時刻における質点の運動エネルギーを、 m と z および、円筒座標系における変数とその時間微分量 (即ち $r, \dot{r}, \theta, \dot{\theta}$: すべて使う必要はない) を使って表しなさい。
- (2) 任意の時刻における質点の角運動量を、 m および、円筒座標系における変数とその時間微分量 (即ち $r, \dot{r}, \theta, \dot{\theta}$: すべて使う必要はない) を使って表しなさい。
- (3) ある時刻において質点の角速度の時間変化 $\ddot{\theta}$ がゼロになったとする。このような時刻における質点の速度ベクトルの動径方向成分 \dot{r} の値を求めなさい。

問3 曲面の形状を $z = h(r) = -C/r$ とする。曲面に沿った $(x, y, z) = (R, 0, -C/R)$ の位置から、質点を初速度 $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}) = (0, V, 0)$ で放出し、その後の質点の位置と速度の時間変化を考察する。 C, R および V はそれぞれ正の定数である。小問 (1) ~ (4) に答えなさい。

- (1) 任意の時刻における質点の速度ベクトルの角方向成分 $r\dot{\theta}$ を、動径 r および初期パラメータ R と V を使って表しなさい。
- (2) 任意の時刻における質点の運動エネルギーを、 m, C, R, V, r, \dot{r} を使って表しなさい。
- (3) ある時刻において質点の角速度の時間変化 $\ddot{\theta}$ がゼロになったとする。このような時刻における質点の動径 r を求めなさい。
- (4) ある初速度 V で実験を行った場合、質点の動きが、終始、水平円軌道になった (即ち動径 r と高さ z が時間変化しない)。このような軌道になるための初速度 V の条件を導きなさい。

化学

以下の問題1～問題3を全て解答しなさい。解答にあたり、必要ならば次の値を用いなさい。

原子量： H=1.0, C=12.0, O=16.0, Ar=40.0

問題1 共に常温で気体である化合物Aおよび化合物Bに関する次の問1～問8に答えなさい。なお、化合物Aおよび化合物Bの標準温度(25℃)における標準生成エンタルピーは、それぞれ -394 kJ mol^{-1} および -110 kJ mol^{-1} とする。また、標準生成エンタルピーの温度依存性およびグラファイトの体積は無視してよい。

問1 3.0 gの純粋なグラファイトを、容積の変わらない反応容器中に入れ、酸素雰囲気下にして密閉し、温度を上げて完全に燃焼させたところ、化合物Aが生成した。この反応の化学反応式を答えなさい。

問2 上記反応後に反応前と同じ温度に戻したとき、反応後の容器内の圧力は反応前の圧力に比べて高くなるか、低くなるか、それとも変化しないか、答えなさい。

問3 上記反応で生成した化合物Aの重量(g)を求めなさい。

問4 3.0 gのグラファイトを完全燃焼させたときに発生する燃焼熱(kJ)を求めなさい。

問5 別の反応容器に、化合物Aと十分多量のグラファイトを入れ、800℃まで温度を上げたところ化合物Bが生成し、化合物Aと化合物Bのmol比(A/B)が一定の値となった。このときの平衡反応式を示しなさい。

問6 問5の平衡状態の系に対して、温度を一定に保ちながら、次の(1)～(3)の操作を検討する。そのとき、化合物Aと化合物Bのmol比(A/B)は操作前と比べて高くなるか、低くなるか、それとも変化しないか、各操作についてそれぞれ答えなさい。

- (1) 容器内の気体を圧縮して全圧を高くする。
- (2) グラファイトを加える。
- (3) 体積を一定に保ってアルゴンガスを加える。

問7 14.0 g の化合物B が完全燃焼したときに発生する熱量は何kJか答えなさい。

問8 問5の反応の熱化学方程式を示しなさい。それを基にして、問5の反応容器の全圧を一定に保ちながら1000°Cまで上げたとき、化合物Aと化合物Bのmol比(A/B)は800°Cの時に比べてどうなるか答えなさい。

問題2 ギ酸 (HCOOH) および酢酸 (CH₃COOH) に関する次の問1～問4に答えなさい。
なお、25℃におけるギ酸と酢酸の酸解離定数 K_a は、それぞれ 1.8×10^{-4} および 1.8×10^{-5} とする。

問1 ギ酸と酢酸の解離平衡の式をそれぞれ示しなさい。

問2 25℃における 0.01 mol L^{-1} のギ酸および酢酸水溶液の pH をそれぞれ求めなさい。

問3 下記の文章は、温度が一定の条件では、ギ酸 HCOOH (0.01 mol L^{-1}) とギ酸ナトリウム HCOONa (0.1 mol L^{-1}) の混合水溶液の pH が、純水で 100 倍に希釈してもほとんど変化しない理由を説明したものである。空欄の①～⑧に当てはまる数値を答えなさい。

0.01 mol L^{-1} のギ酸を水に溶かした時の電離度 α (溶解した電解質の物質質量に対する電離した電解質の物質質量の割合; $0 < \alpha \leq 1$) は (①) に近似できることからギ酸 (HCOOH) の濃度は (②) mol L^{-1} と近似できる。また、 0.1 mol L^{-1} のギ酸ナトリウムを水に溶かした時の電離度は (③) に近似できることからギ酸イオン (HCOO⁻) の濃度は (④) mol L^{-1} と近似できる。よって、25℃におけるギ酸とギ酸ナトリウムの混合水溶液の水素イオンの濃度は (⑤) mol L^{-1} となる。この溶液を 100 倍にうすめると、HCOOH 濃度は (⑥) mol L^{-1} となり、HCOO⁻ 濃度は (⑦) mol L^{-1} となり、水素イオン濃度は (⑧) mol L^{-1} となる。従って温度が一定の条件では、ギ酸とギ酸ナトリウムの混合水溶液の pH は純水で希釈してもほとんど変化しない。

問4 次の (1)～(3) の特徴が当てはまるのは、ギ酸と酢酸のどちらか、もしくは両方か、それぞれについて、理由を付けて答えなさい。

(1) アンモニア性硝酸銀水溶液を加えて穏やかに加熱すると、水溶液中のジアンミン銀イオン ($[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$) の一部が銀 (Ag) となって析出した。

(2) 過剰のエタノール (C₂H₅OH) を加え、さらに触媒として濃硫酸を加えて加熱すると、果実臭のする液体が生成した。

(3) 濃硫酸を加えると脱水反応が進行して、無色無臭の気体が生成した。

問題3 炭素と水素のみから成る有機化合物Zに関する次の問1～問3に答えなさい。

問1 ある真空の容器に1.0 gのアルゴンを封入すると、容器内の圧力は300 Kで 7.0×10^{-4} Paを示した。同じ容器を再び真空にして、1.0 gの揮発性の有機化合物Zを封入して360 Kまで温めたところ、完全に気化して、容器内の圧力は 4.0×10^{-4} Paを示した。この有機化合物Zの分子量を求めなさい。ただし、気体は全て理想気体として取り扱えるものとし、気体定数は $8.3 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ とする。

問2 2.1 gの有機化合物Zを十分多量の酸化銅(II)CuOと混ぜて完全燃焼させたところ、二酸化炭素と水が得られ、それぞれの質量は6.6 gおよび2.7 gであった。有機化合物Zの分子式を求めなさい。

問3 問2で求めた分子式で表される有機化合物のうち、次の(1)～(4)の特徴を持つ異性体をそれぞれ1つずつ挙げ、その化学構造式を答えなさい。

- (1) 環状構造を持ち、かつ立体異性体を持たない。
- (2) 二重結合を持ち、かつ立体異性体を持たない。
- (3) 二重結合を持ち、かつシス-トランス異性体を持つ。
- (4) 二重結合を持ち、かつ不斉炭素原子を持つ。

生物学

以下の問題1と問題2を、それぞれ別の解答用紙を用いて全て解答しなさい。

問題1 図1は動物細胞の模式図である。これについて、以下の問1～問5に全て答えなさい。

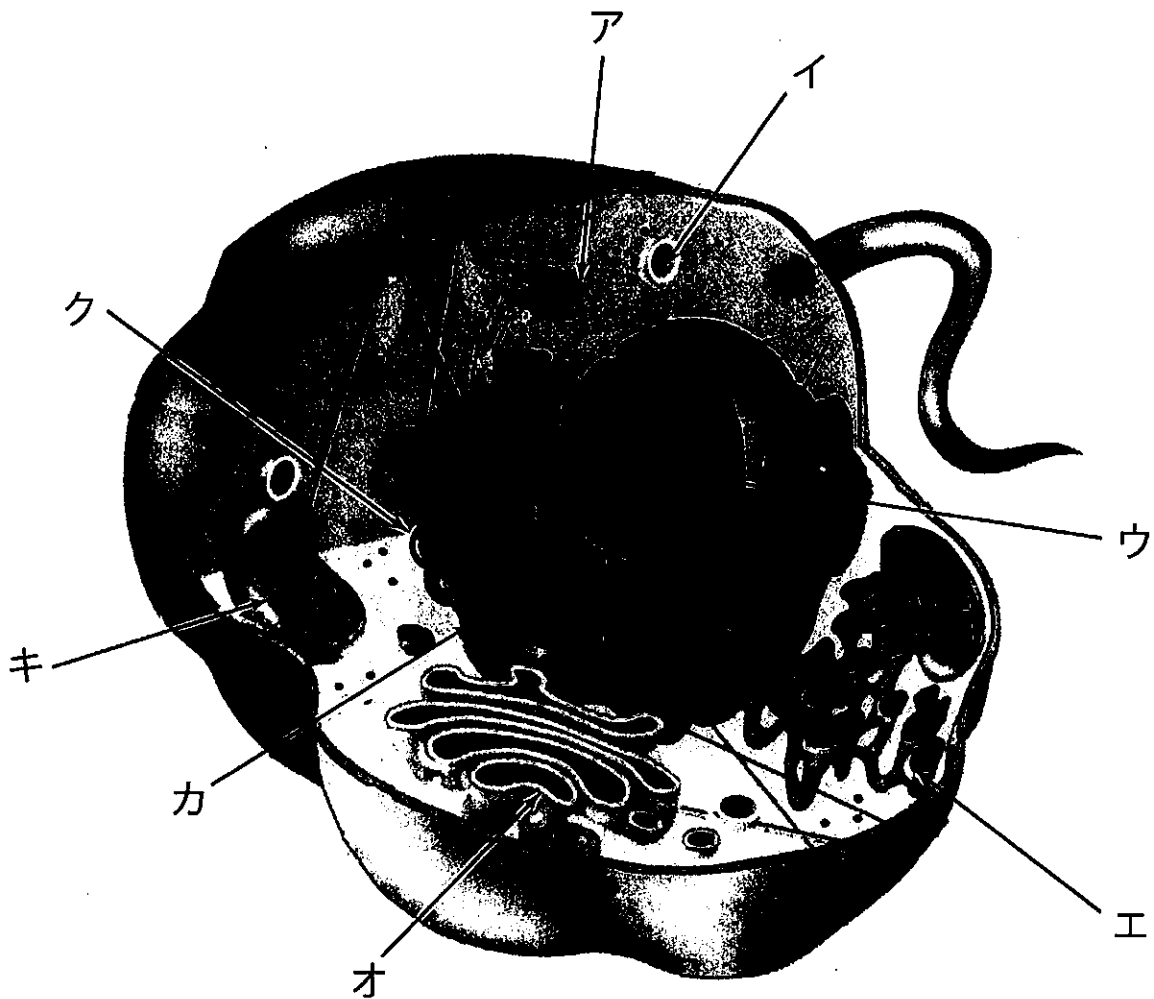


図1. 一般化した動物細胞の模式図。「ク」は、二重丸の円内のものを指す。

(Simon et al., 2014: 「エッセンシャルキャンベル生物学」を改変)

問1 動物細胞で細胞質を包む膜を細胞膜と呼ぶ。細胞膜はリン脂質とタンパク質から構成される。リン脂質とタンパク質は、細胞膜の膜面に沿って自由に移動できる。細胞膜中のタンパク質には、リン脂質の層を横断するものもあれば、

横断しないものもある。これらのタンパク質は、①タンパク質の中の特定の領域がリン脂質の層の表面から外側に飛び出している一方で、それ以外の領域がリン脂質の層の中に埋もれている。細胞膜について、以下の(1)と(2)に答えなさい。

- (1) リン脂質とタンパク質からなる細胞膜の構造の模式図を描きなさい。特に、リン脂質の分子の方向性や配列がわかるように描くこと。
- (2) 下線部①のとおり、細胞膜中のタンパク質は細胞膜の表面に対して決められた方向を向いて埋まっている。どのような仕組みによって、これらのタンパク質の細胞膜面上での方向が維持されているか、細胞膜を構成するリン脂質やタンパク質の化学的性質と関連付けて、200字程度で説明しなさい。

問2 植物細胞にはしばしば見られるが、動物細胞には見られない構造を3つ答えなさい。

問3 図1の細胞小器官「ア～ク」の中で、DNAをもつものをすべて選び、その記号とそれに対応する細胞小器官の名称を答えなさい。

問4 図1の細胞小器官「カ」は核膜とつながった扁平な袋状の構造で、表面には小さな細胞小器官「ク」が並んでいる。「ク」の細胞小器官の名称を答えなさい。また、DNAから遺伝情報が読み取られてタンパク質の合成が完了するまでの過程で、この細胞小器官の中で行われるプロセスを200字程度で説明しなさい。

問5 β -チューブリンは、細胞分裂の際に染色体を誘導する役割を果たすタンパク質だが、そのアミノ酸配列として図2の例が報告されている。図2の下線部②で示した β -チューブリンの10個分のアミノ酸をコードするDNAの鋳型鎖の塩基配列を、表1を使って塩基記号で書きなさい。ただし、塩基が特定できない箇所については、「X」で表記しなさい。(解答例： A-G-X-C-X-X-A-A-G…)

```

②mreiv hiqag qcgng igakf wevis dehgi dptgs yhgds dlqle rinvy
 yneaa gnkyv prail vdlep gtmds vrsqp fgqif rpdnf vfgqs gagnn
 wakgh ytega elvds vldvv rkese scdcl qgfql thslg ggtgs gmgtl
 liski reeyp drimm tfsvv pspkv sdtvv epyna tlvsh qlven tdety
 cidne alydi cftrl klttp tygdl nhlvs atmsg vttcl rfpqg lnadl
 rklav nmvpf prlhf fmpgf aplts rgsqq yralt vpelt qqmfd aknmm
 aacd p rhgry ltvaa vfrgr msmke vdeqm lnvqn knssy fvewi pnnvk
 tavcd ipprg lkmsa tfign staiq elfkr iseqf tamfr rkaf l hwytg
 egmde mefte aesnm ndlvs eyqqy qdata deqge feeeg eedea

```

図2. β-チューブリンのアミノ酸配列 (Krauh s et al., 1981 を改変). アミノ酸の一字表記は本来大文字で示すが, 塩基記号との混同を避けるため, 取えて小文字で示している. 記号は読みやすいように5個ごとにスペースで区切ってある.

一字記号: a, アラニン; c, システイン; d, アスパラギン酸; e, グルタミン酸;
 f, フェニルアラニン; g, グリシン; h, ヒスチジン; i, イソロイシン; k, リシン;
 l, ロイシン; m, メチオニン; n, アスパラギン; p, プロリン; q, グルタミン; r, アルギニン;
 s, セリン; t, トレオニン; v, バリン; w, トリプトファン; y, チロシン.

表1. RNA コドンで示した遺伝暗号の解読表 (Simon et al., 2014: 「エッセンシャルキャンベル生物学」を改変). コドンがコードするアミノ酸を記している.

		RNA コドンの2番目の塩基					
		U	C	A	G		
RNA コ ド ン の 1 番 目 の 塩 基	U	UUU: f	UCU: s	UAU: y	UGU: c	U C A G	コ ド ン の 3 番 目 の 塩 基
		UUC: f	UCC: s	UAC: y	UGC: c		
		UUA: l	UCA: s	UAA: 終止	UGA: 終止		
		UUG: l	UCG: s	UAG: 終止	UGG: w		
	C	CUU: l	CCU: p	CAU: h	CGU: r	U	
		CUC: l	CCC: p	CAC: h	CGC: r	C	
		CUA: l	CCA: p	CAA: q	CGA: r	A	
		CUG: l	CCG: p	CAG: q	CGG: r	G	
	A	AUU: i	ACU: t	AAU: n	AGU: s	U	
		AUC: i	ACC: t	AAC: n	AGC: s	C	
		AUA: i	ACA: t	AAA: k	AGA: r	A	
		AUG: m, 開始	ACG: t	AAG: k	AGG: r	G	
	G	GUU: v	GCU: a	GAU: d	GGU: g	U	
		GUC: v	GCC: a	GAC: d	GGC: g	C	
		GUA: v	GCA: a	GAA: e	GGA: g	A	
		GUG: v	GCG: a	GAG: e	GGG: g	G	

A, アデニン; C, シトシン; G, グアニン; U, ウラシル; 開始, 開始コドン; 終止, 終止コドン. アミノ酸の記号は図2の説明を参照すること.

問題2 地球上のバイオームと生物の分類に関する以下の問1～問3に答えなさい。

問1 図3は北アメリカの主要なバイオームのクライモグラフである。

(1) XとYはそれぞれ何を示すか、その単位とともに答えなさい。

(2) このグラフには、熱帯林、温帯広葉樹林、砂漠、温帯草原、ツンドラ、針葉樹林の6つのバイオームが示されている。それらのバイオームが、IからVIのどれに対応するか答えなさい。またそれらのバイオームの環境条件とそこに生存する植物の特徴を、バイオームごとに50字程度で述べなさい。

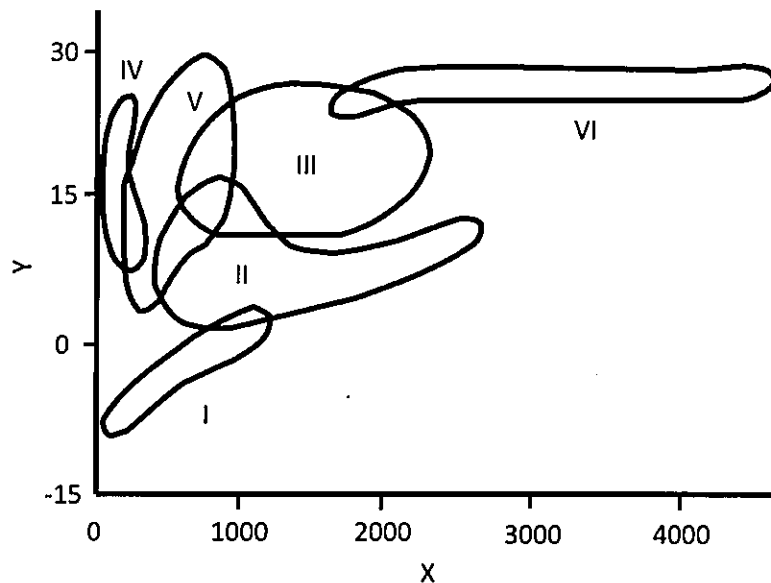


図3. 北アメリカの主要なバイオームのクライモグラフ

(Simon et al., 2014: 「エッセンシャルキャンベル生物学」を改変)

問2 海洋のバイオームは、漂泳層と底生層に区分することができる。またさらに表層と深層でも区分することができる。

(1) 漂泳層と底生層の環境条件とそこに生存する生物の特徴を、各層ごとに50字程度で述べなさい。

(2) 表層と深層の環境条件とそこに生存する生物の特徴を、各層ごとに50字程度で述べなさい。

問3 地球上の生物は大きく原核生物と真核生物に分類されてきた。最近は、図4のような3ドメイン体系が作られている。

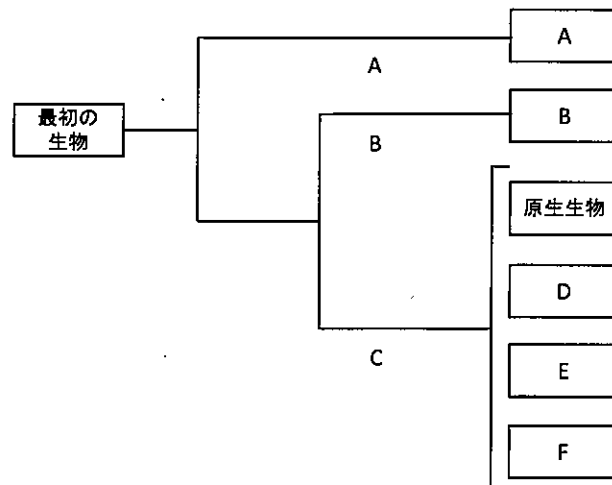


図4. 3ドメイン分類体系. 原生生物は藻類を含むものとする.
(Simon et al., 2014: 「エッセンシャルキャンベル生物学」を改変)

- (1) 原核生物と真核生物の違いを100字程度で述べなさい。
- (2) 図4のA~Cの各ドメインとD~Fの各界の名称をあげなさい。ただし、D~Fの順序は問わない。
- (3) 生物は、必要とするエネルギーと炭素を獲得する栄養様式によって、主に4つのグループに分けることができる。これら4つのグループの名称をあげ、それぞれの生物のエネルギー源および炭素源を以下の単語群の中から選びなさい。ただし、同じ単語を複数回利用してもよい。

単語群：光，無機化合物，有機化合物

- (4) D~Fの各界の生物は、(3)のどのグループに主に含まれるか答えなさい。

数 学

以下の問題1～問題5を全て解答しなさい。答案には計算過程も書きなさい。

問題1 次の2つの行列について、固有値およびそれぞれの固有値に対応する固有ベクトルを求めなさい。

$$\text{問1} \quad \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \\ 2 & 5 & 3 \end{pmatrix} \quad \text{問2} \quad \begin{pmatrix} 1 & 2 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 2 & 0 \\ 0 & 2 & 1 & 2 \\ 2 & 0 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$

問題2 次の定積分の値を計算しなさい。

$$\text{問1} \quad \int_0^{\infty} \frac{\tan^{-1} x}{1+x^2} dx \quad (\tan^{-1} x \text{ は } \tan x \text{ の逆関数で, } -\pi/2 \text{ から } \pi/2 \text{ の間の値をとる。})$$

$$\text{問2} \quad \int_0^{\infty} e^{-x} \cos\left(x + \frac{\pi}{4}\right) dx$$

問題3 次の常微分方程式を解きなさい。

$$\text{問1} \quad \frac{dy}{dx} = -y \sin x + 2 \sin x$$

$$\text{問2} \quad \frac{dy}{dx} + 2y = e^x y^2$$

問題4 区間 $-\pi \leq x \leq \pi$ において区分的に滑らかな関数 $f(x)$ のフーリエ展開は、 $f(x)$ の不連続点を除いた区間において、以下のように与えられる。以下の問1、問2に答えなさい。

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos nx + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin nx$$

問1 $f(x) = x^2$ ($-\pi \leq x \leq \pi$) に対するフーリエ展開係数 a_n ($n \geq 0$)、 b_n ($n \geq 1$) を求めなさい。

問2 問1の結果を利用し、以下の無限級数の和 S を求めなさい。

$$S = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2}$$

問題5 連続な確率変数 x ($0 \leq x \leq 1$) が次の確率密度関数 $f(x)$ に従って分布するとき、それぞれの $f(x)$ について x の平均値と標準偏差を求めなさい。ここで、 \log は自然対数である。

$$\text{問1} \quad f(x) = \frac{2}{3}(1+x)$$

$$\text{問2} \quad f(x) = -4x \log x$$