

## A (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、問題1～問題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。

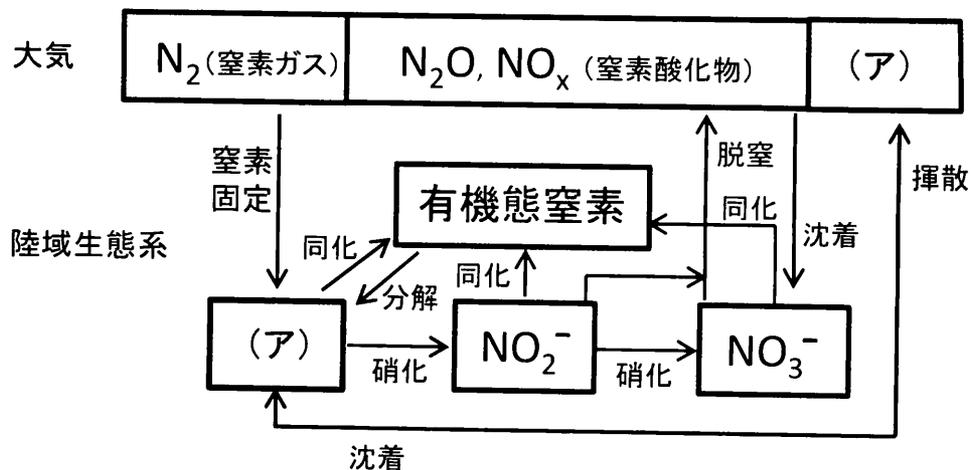


図1 陸域生態系における窒素循環図

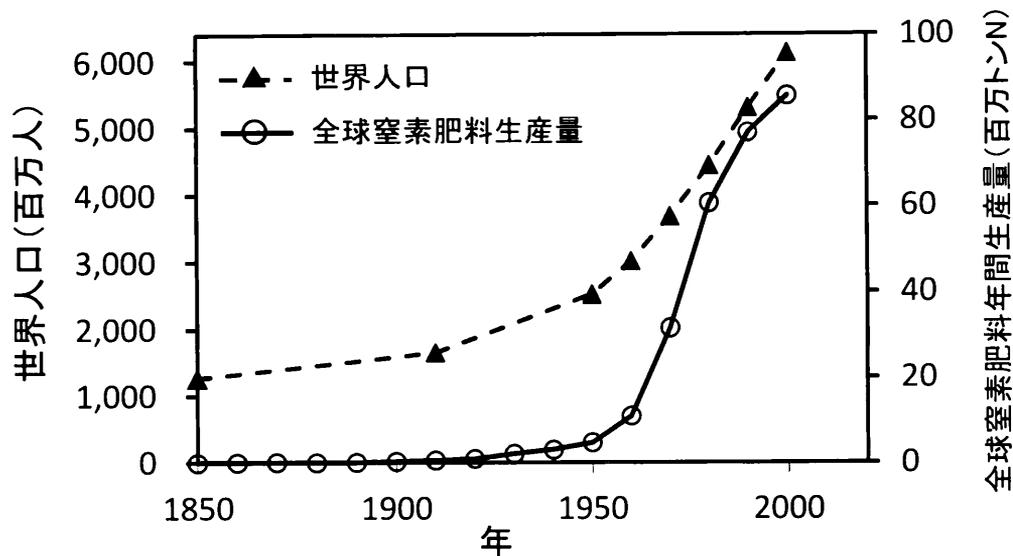


図2 1850年から2000年までの世界人口と全球における窒素肥料年間生産量の推移。  
 トンNとは窒素重量換算した窒素肥料生産量の単位。  
 (Dawson and Hilton 2011を改変)

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。

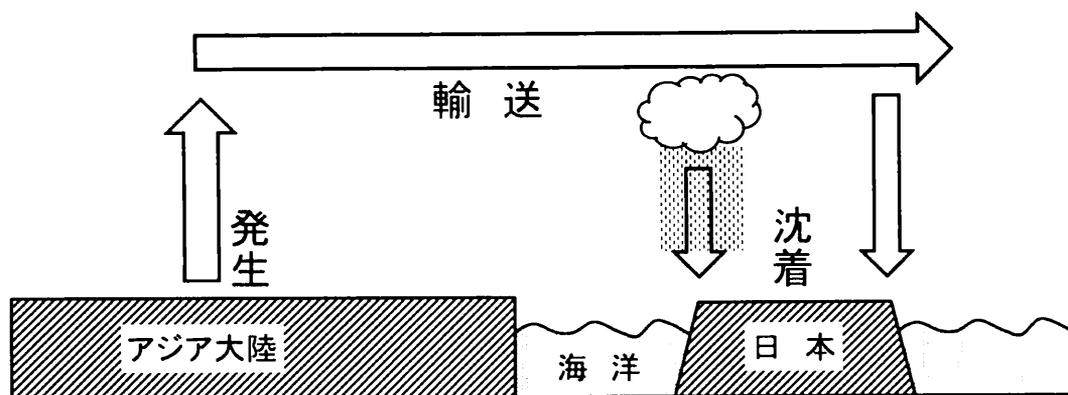


図3 黄砂の発生・輸送・沈着過程の模式図。

- 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）。

## B (地球科学 I)

以下の問題 1 と問題 2 を全て解答しなさい。

問題 1 地質図 (図 1) を見て、以下の問 1～問 8 をすべて解答しなさい。

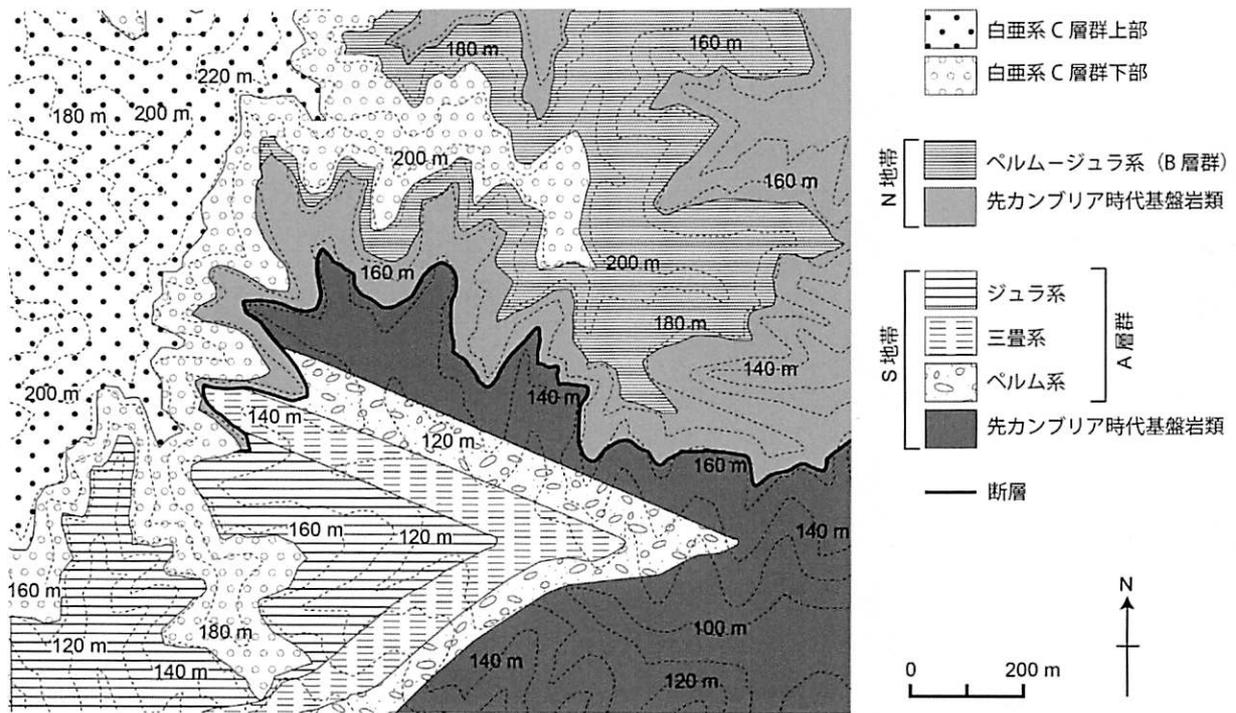


図 1 地質図

問 1 B 層群と C 層群の層序学的関係を答えなさい。

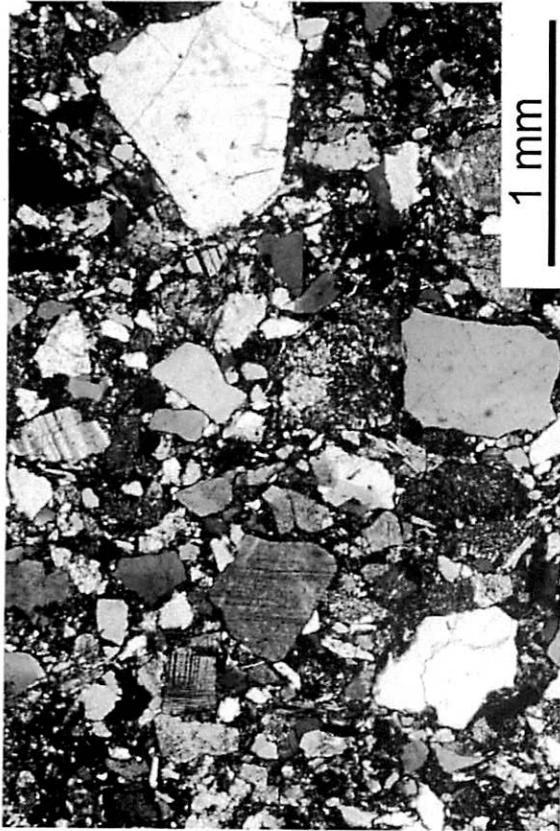
問 2 N 地帯と S 地帯の間の断層の傾斜方向を、北、北東、東、南東、南、南西、西、北西の中から選びなさい。

問 3 問 2 の断層の変位方向を知るためには、現地でのどのような調査をすればよいか。3 行以内で答えなさい。

問 4 A 層群が形成する地質構造名を答えなさい。

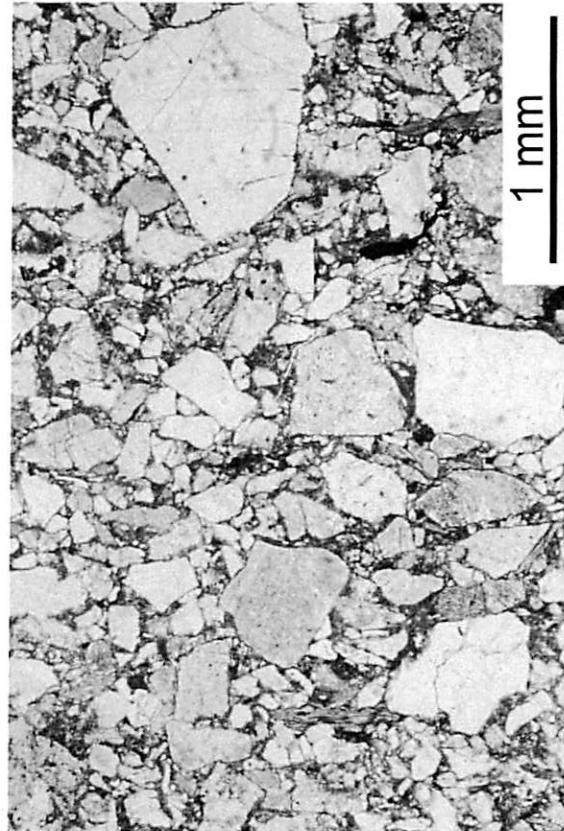
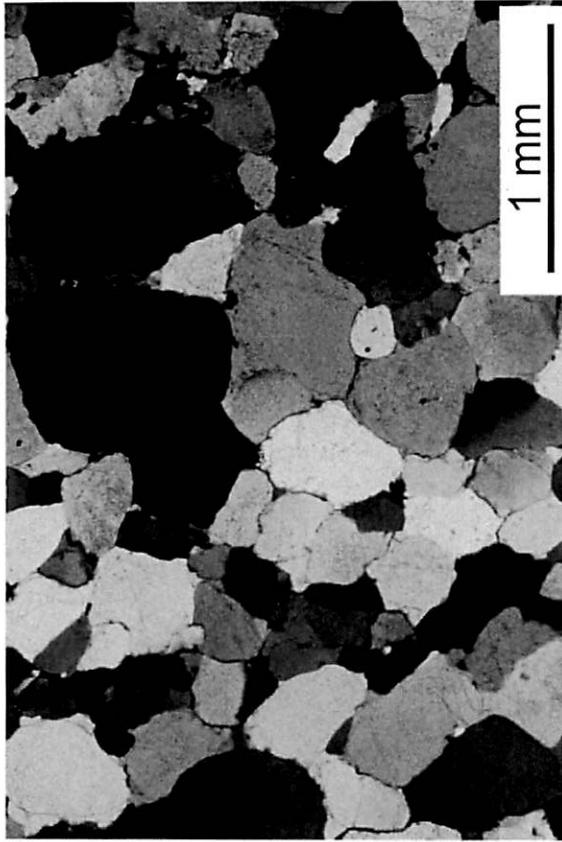
問 5 図 2 は A 層群と C 層群の砂岩の偏光顕微鏡写真である。写真から読み取れる両者の組織の相違について 3 行以内で答えなさい。

A 層群砂岩



直交ホーナー

C 層群砂岩



単ホーナー

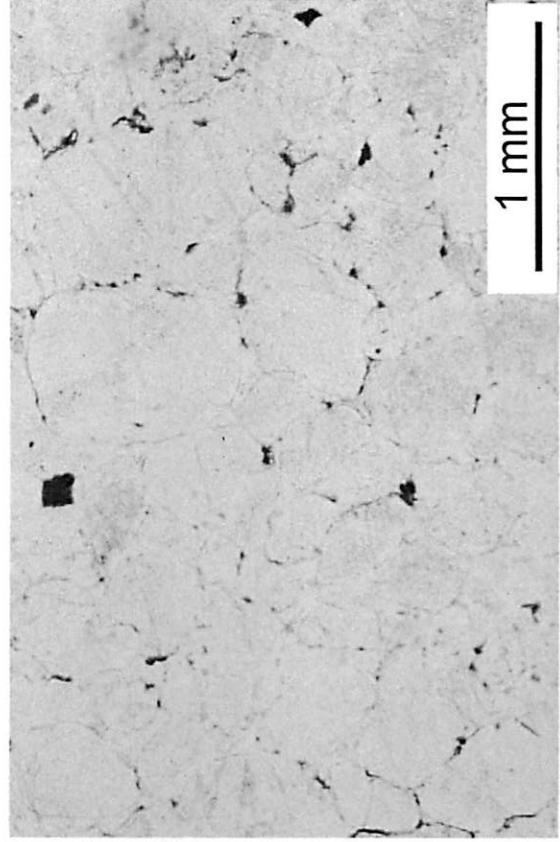


図2 A 層群と C 層群の砂岩の偏光顕微鏡写真

- 問6 A層群は海成層で、図3の様な堆積構造が認められる。この堆積構造と砂岩の偏光顕微鏡写真(図2)から、この砂岩はどのような過程を経て形成されたと考えられるか、理由をつけて5行以内で答えなさい。
- 問7 細粒碎屑岩中の古地磁気の伏角を測定したとすると、この古地磁気の伏角の大きさから、一般的に何がわかるか答えなさい。なお、碎屑岩の伏角の大きさは、磁化以降のすべての作用に対して、変化しなかったとする。
- 問8 図4は、A層群とB層群のそれぞれの下位から上位にかけて測定した、正磁極期(現在と同じ状態)の古地磁気の伏角の大きさの変化を示したものである。また、A層群から産する化石は、下位は温暖な海洋環境を示し、上位は寒冷な海洋環境を示すが、B層群から産する化石は下位から上位まですべて寒冷な海洋環境を示す。C層群からは寒冷な陸上環境を示す化石を産する。これらの古地磁気及び化石情報と上記の情報(地質図を含む)を基に、ペルム紀～白亜紀のN地帯とS地帯の地質構造発達史を10行以内で答えなさい。なお、N地帯とS地帯はペルム紀～白亜紀には北半球に位置していたとする。

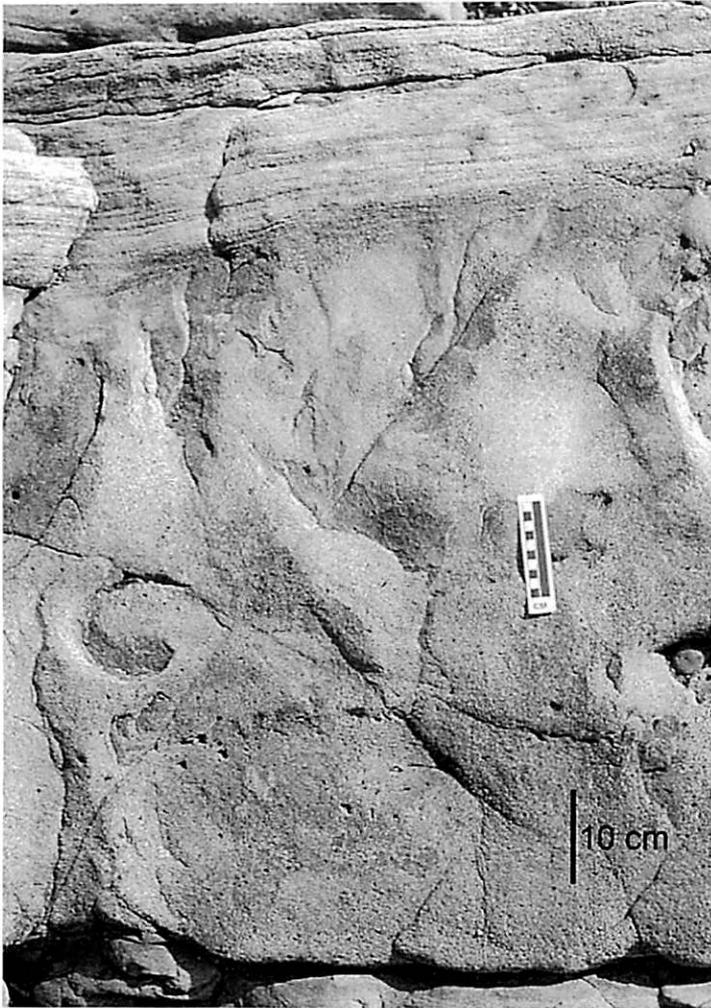


図3 A層群に見られる堆積構造  
Taira *et al.* (1992)より引用

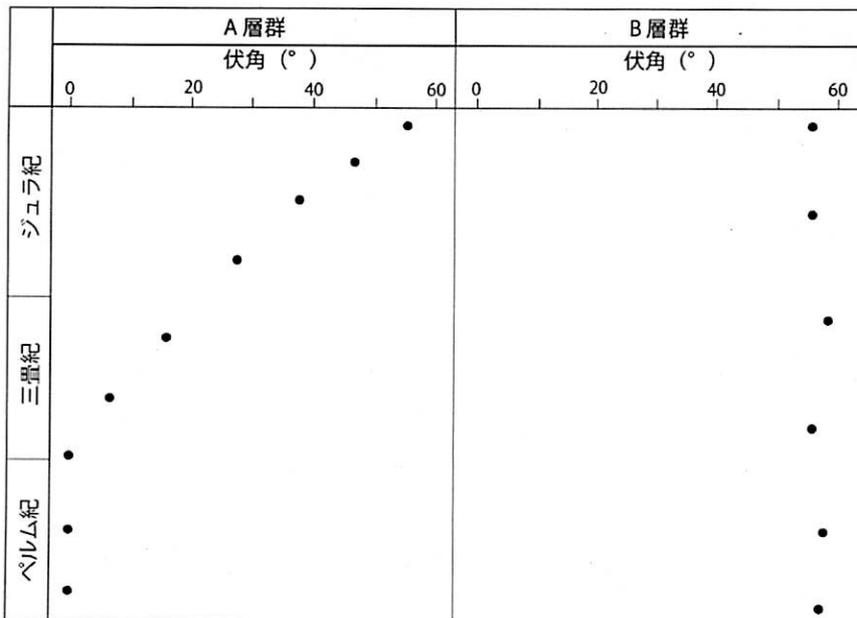


図4 A層群とB層群のペルム紀～ジュラ紀の正磁極期の古地磁気の伏角の変化

問題2 図5は、あるルートに沿って行われた新生代層の調査結果をまとめた図である。図の左側には地質柱状図を、右側には層準ごとの化石の産出状況を示し、黒丸は化石の産出を表している。すべての地層は整合関係で重なっている。化石用岩石試料を採取するにあたっては、新鮮な岩石を十分な量採取することに留意した。二枚貝化石については、それらの産状に注意し、層準1、2および4の化石がすべて原地性であることを確認した。珪藻化石はどの層準でも浮遊性種が優勢であった。生痕化石については、現地で十分な観察を行い、動物の巣穴や這い跡の化石であることを確認した。以下の問1～問7をすべて解答しなさい。

問1 地層の時代を決定するのに浮遊性有孔虫化石と珪藻化石を用いた。これらの化石が地層の時代決定に役立つ理由を4行程度で述べなさい。

問2 化石の原地性と異地性について二枚貝化石を例に5行程度で説明しなさい。

問3 生痕化石には動物の巣穴や這い跡以外にどのようなものがあるか、2つ例を挙げなさい。

問4 層準5の砂岩層から産出した二枚貝化石はすべて異地性であり、その下位の層準4の泥岩層中の二枚貝化石は原地性である。両層準を含む砂岩泥岩互層中の砂岩と泥岩における化石の産出状況はそれぞれ両層準と同様である。層準5堆積時の堆積環境はどのようなものであったか4行程度で述べなさい。

問5 層準3の化石産出状況を説明する説として、堆積時に海底が貧酸素環境だったとする考えを挙げることができる。そのように考えられる理由を3行程度で述べなさい。また、海底に貧酸素環境が生ずるおもな要因について3行程度で述べなさい。

問6 層準6の化石産出状況を説明する説として、堆積時に海底が炭酸塩補償深度よりも深かったとする考えを挙げるができる。そのように考えられる理由を5行程度で述べなさい。また、炭酸塩補償深度を規制するおもな要因について3行程度で述べなさい。

問7 以下の化石について、それぞれ産出が予想される層準をすべて挙げなさい。

また、そのように判断した理由をそれぞれ5行程度で述べなさい。

(1)ウニ類 (2)魚類

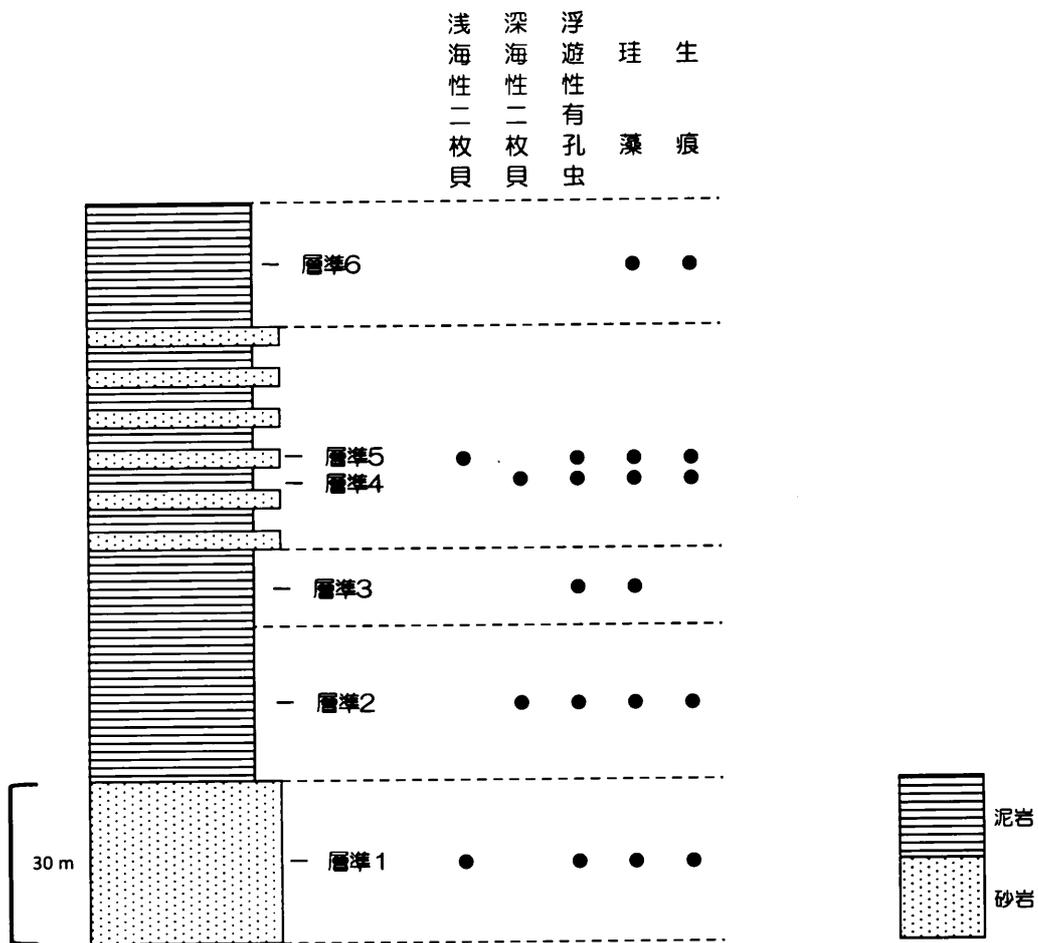


図5 柱状図と化石の産出状況. 黒丸は化石の産出を示す.

## C (地球科学 II)

以下の問題1～3に全て答えなさい。

問題1 地球はその表層から中心部にかけて順に、地殻、マントル、外核および内核に区別されている。以下の問1～4に全て答えなさい。

問1 図1は主要な鉱物の地殻存在度を示している。以下の(1)～(2)に答えなさい。

- (1) 花崗岩類は大陸地殻を特徴付ける岩石であり、玄武岩類は海洋地殻を構成する主要な岩石である。両方の岩石に、ほぼ普遍的に共通して含まれる主要な鉱物は何か。鉱物名を1つ答えなさい。また、その鉱物の薄片を偏光顕微鏡の直交ポーラで観察すると、どのようにみえるか。その特徴を2つ述べなさい。
- (2) 図1に名前があげられた鉱物は石英を除くと、固溶体という性質を示す。固溶体とは何かを例をひとつあげて説明しなさい。

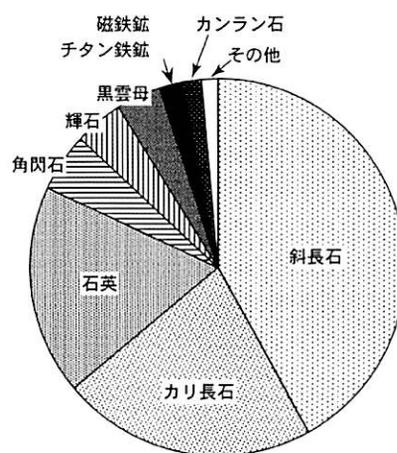


図1：主要な鉱物の地殻存在度 (Wedepohl, 1971)

問2 沈み込み帯や大陸衝突帯の深部では、石英の高压相であるコース石が安定となる条件下で変成作用が進行し、超高压変成岩が形成されている。図2は、地表で採取された超高压変成岩の薄片の偏光顕微鏡写真であり、図3は、 $\text{SiO}_2$  相の安定領域と1モルあたりの体積を示した相図である。以下の(1)～(2)に答えなさい。

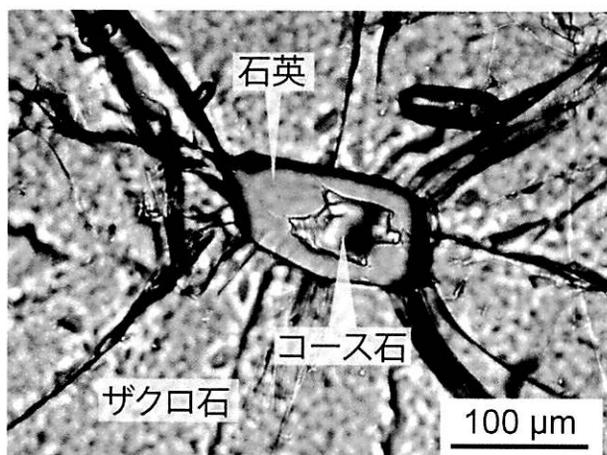


図2：超高压変成岩の薄片の偏光顕微鏡写真 (単ポーラ)

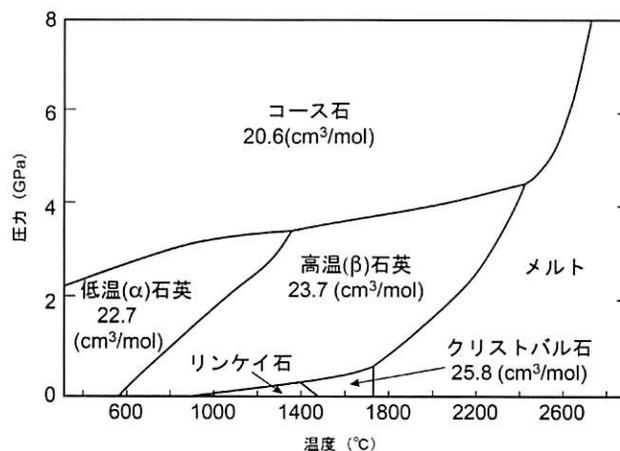


図3： $\text{SiO}_2$  鉱物の安定関係を示す相図 (Swamy et al., 1994)

- (1) 図2に示す偏光顕微鏡写真から読み取ることができる組織の特徴を2つ述べなさい。
- (2) 図3を参考に、図2が示す組織が形成された過程を推測し、その様に判断した理由も含めて述べなさい。

問3 上部マントルを構成する主要な岩石は、一般に「超苦鉄質岩」と呼ばれている。これとよく似た語句に、「超塩基性岩」がある。両者の類似点と相違点を、構成する鉱物と全岩化学組成に注目して述べなさい。

問4 核は、全体として主に金属鉄から構成されている。それにもかかわらず、外核と内核に区別されている主な理由を30字以内で述べなさい。

**問題2** 斑状変晶 (porphyroblast) は岩石の変成作用によって特別に大きく成長した結晶である。斑状変晶は岩石の変形・変成履歴に関して数多くの情報を記録してくれる。斑状変晶について以下の問1～問2を全て答えなさい。

- 問1 泥質変成岩中で斑状変晶として一般的に見られる鉱物を三つあげなさい。  
 問2 三つの異なる変形域（地域1, 地域2, 地域3）から三つの異なる岩石試料（試料a, 試料b, 試料c）が採取され、すべてが斑状変晶を含む。図4は顕微鏡で観察された試料a～cに含まれる斑状変晶と変形による面構造の組織を示す。三つの岩石試料が採取された地域について次の情報が知られている。

- 地域1：延性変形が一段階しか認められない広域変成帯
- 地域2：複数段階の延性変形が認められる広域変成帯
- 地域3：貫入岩体周辺に形成した接触変成帯

試料a～試料cがどの地域で採取されたか最も適したものを地域1～3からそれぞれ選び、またそう判断した理由を示し、答えなさい。

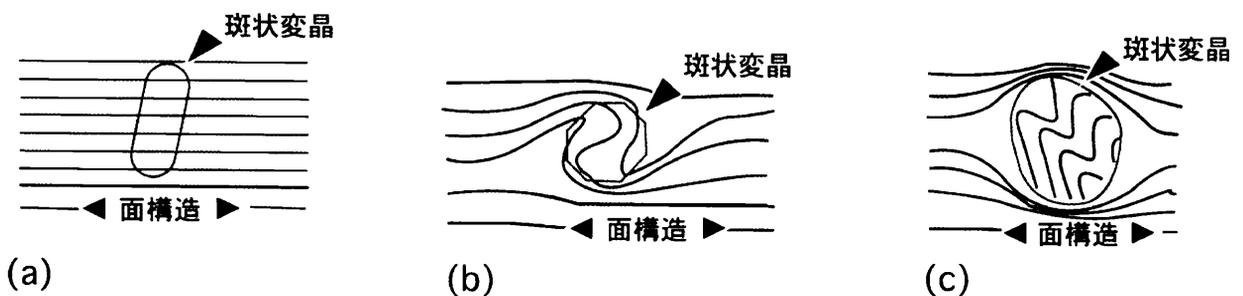


図4 試料(a)～(c)で観察される斑状変晶の微細組織の模式図

問題3. 海嶺は海洋リソスフェアにおけるプレート境界の一つである。海嶺が沈み込み帯に接近し、沈み込むプロセスは、現在の地球で起きており、過去にも起きており、収束プレート境界の地質学的現象を理解するために重要である。図5は海嶺と沈み込み帯の境界を持つ3つの異なるプレートの位置関係と相対的な速度を示す。次の問1～問2を全て答えなさい。なお、 ${}_A V_B$ はプレートBのプレートAに対する速度を意味する。また、プレートAに収束する(左向き)速度を正とし、プレートは剛体であり、沈み込むまで内部変形しないとす。地球の曲率は無視し、海嶺は対称的に拡大し、プレートの運動は時間変化しないと仮定する。

問1  ${}_A V_B$ を10 cm/yrと固定し、 ${}_A V_C$ が次の4通りの場合について、プレートAに対する海嶺の移動速度を答えなさい。ただし、図5に示してある紙面に対して垂直の運動成分を無視する。

- i)  ${}_A V_C = -10$  cm/yr
- ii)  ${}_A V_C = 0$  cm/yr
- iii)  ${}_A V_C = 2$  cm/yr
- iv)  ${}_A V_C = -2$  cm/yr

問2 海嶺が沈み込み帯に到達するとプレートBが完全に沈み込み、プレートCとプレートAが接するようになる。このとき、プレートCとプレートAの境界がトランスフォーム断層になる可能性があるが、そうなるために必要な ${}_A V_C$ の条件を答えなさい。なお、ここでは、図5に示してある紙面に対して垂直の運動成分も考慮する。

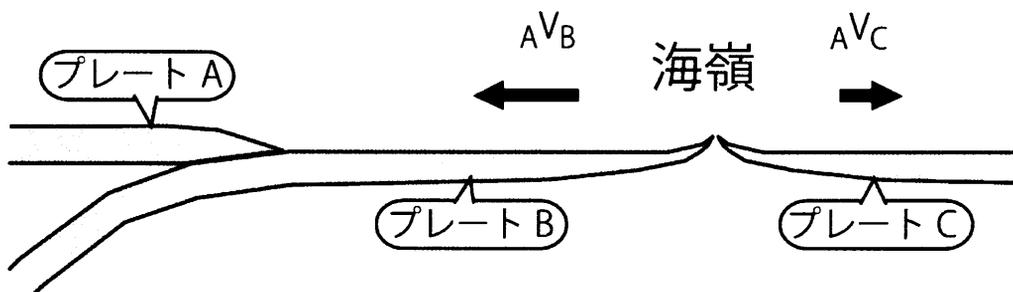


図5 プレートA~Cの位置関係とそれらの運動を示すベクトル

## D (地球科学Ⅲ)

以下の問題1～問題3を全て解答しなさい。

問題1 以下の(a)～(d)について、具体例を示しながら、それぞれ100字程度で説明しなさい。

- (a) 宇宙線生成核種
- (b) エコンドライト
- (c) 粘土鉱物
- (d) 同位体分別

問題2 図1はウラン系列の放射壊変を各核種の半減期とともに示したものである。

ウラン系列の放射壊変は、中間生成核種の半減期および化学的性質を上手く利用することにより、種々の地球物質の年代測定に用いられている。図1を参考にしながら、ウラン系列の放射壊変に関する以下の文章の (1)～(13) に最も適当な化学式、核種、数字、語句等を答えなさい。

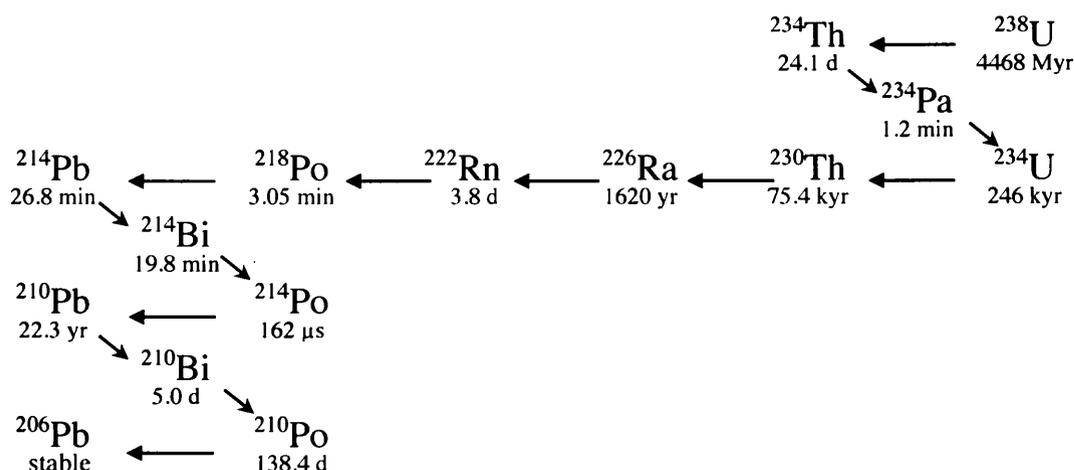


図1 ウラン系列の放射壊変

ウラン系列の中間生成核種は $^{238}\text{U}$ に比べて半減期が圧倒的に短い。したがって、閉鎖系を保ったまま長い時間が経つと、親-娘核種間で、親が壊変して娘になる量と、娘が壊変により減少する量が釣り合い、各核種が一定の比を保つ放射平衡と呼ばれる状態になる。この状態から、特定の核種の量が減少(あるいは増加)すると、

放射平衡が崩れ、ある時間をかけてまた放射平衡に戻る。このことを利用し、平衡が崩れた瞬間を  $t=0$  とした放射年代測定が可能である。

具体的に、 $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  年代測定法について考えてみる。地球表層の水は、一般に極微量の U を含むが、Th をほとんど含まない。これは、U は酸化数+6 の (1) の化学式で表されるウラニルイオンとして溶解し、平均滞留時間がおおよそ 50 万年と長いのに対し、Th は難溶性の水酸化物を形成して水には溶けず、おおよそ 300 年という短い平均滞留時間で水から除去されるからである。つまり、地球表層の水から生成した物質は、 $^{230}\text{Th}$  と  $^{234}\text{U}$  の放射能の比を  $A$  としたとき、 $t=0$  において  $A=$  (2) の非平衡関係が成り立つ。その後、時間の経過とともに、 $^{234}\text{U}$  の (3) 壊変によって  $^{230}\text{Th}$  が生成・蓄積されていき、 $A$  は増大し、やがて  $A=$  (4) に近づき、永続平衡状態となる。さらに、 $^{238}\text{U}$  の半減期は  $^{230}\text{Th}$  の半減期に比べてはるかに長いので、 $^{238}\text{U}$  と  $^{234}\text{U}$  の間でも永続平衡状態が成り立つ。このような場合には、以下の①式が成立する。ただし、 $B$  は時間  $t$  における  $^{230}\text{Th}$  と  $^{238}\text{U}$  の放射能の比、 $\lambda$  は  $^{230}\text{Th}$  の壊変定数である。

$$B = 1 - \exp(-\lambda t) \quad \dots \dots \textcircled{1}$$

①式を利用した  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  年代測定法は、例えば、古気候解析において (5) などの試料によく用いられている。この測定手法としては、 $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  年代測定法が開発された当初から利用されてきた (6) 法と、1980 年代後半から広く普及し、現在、一般に用いられている (7) 法がある。(6) 法は、測定時間中に壊変する核種を対象としているのに対し、(7) 法は、壊変せずに残存している核種を対象としており、少量の試料量で高精度な測定が可能という長所を持つ。この  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  年代測定法は、数百年前から (8) 万年前位までの第四紀試料の年代を求めるのに有力な方法として使われている。

その他、海底堆積物などの過去 100 年程度の堆積速度を求めたい場合、 $^{210}\text{Pb}$  法が用いられる。 $^{210}\text{Pb}$  法は、図 1 のウラン系列の中間生成核種である (9) が気体のため地表から大気に散逸し、その後さらに壊変が進み、数日のうちに、大気から大部分が (10) となり地表に戻ってくる性質を利用している。

さらに、億年単位の古い岩石の生成年代を求めたい場合、親核種 (11) と娘核種 (12) の組み合わせを用いた年代測定法が有効であり、(13) などの鉱物を用いて、多くの地質年代が得られている。

問題3 水質指標に関する以下の問1～問2の全てに答えなさい。

問1 水質の有機物による汚濁の指標として、生物化学的酸素要求量 (BOD) や化学的酸素要求量 (COD) が用いられる。BOD は、一定期間 (5 日間) , 試料を一定温度 (20℃) で密閉容器中に保ったときの溶存酸素の減少量で表される。一方、COD は、試料水を一定条件下で (a)酸化剤により酸化し、その際消費された酸化剤の量を、酸化に必要な酸素量に換算した値で表される。

- (1) 下線部(a)の酸化剤として用いられる試薬を答えなさい。
- (2) 環境省が定める水質汚濁に係る環境基準では、COD は湖沼・海域、BOD は河川の基準項目と定められている。なぜ異なる指標が用いられているのか。その理由を 100～200 字で説明しなさい。
- (3) 有機物による汚濁の指標として、COD は、BOD に比べて短時間に測定できるという利点をもつが、いくつかの問題点も指摘されている。そのため、最近では、COD に代えて TOC (全有機炭素量) が用いられる傾向にあり、すでに、水道水質基準では TOC が用いられている。有機物による汚濁の指標として、COD はどのような点が問題と考えられるか。100～200 字で述べなさい。

問2 リン化合物の定量は水質評価の重要項目の一つである。リン酸イオン  $\text{PO}_4^{3-}$  は、下記のモリブデン・ブルー法を用いて定量することができる。

<モリブデン・ブルー法によるリン酸イオンの定量>

リン酸イオンは、強酸性溶液中でモリブデン酸  $\text{MoO}_4^{2-}$  と反応して、黄色の (b)リンモリブデン酸錯体  $\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}^{3-}$  (モリブデン・イエロー) となる。この溶液を還元剤によって処理すると、青変してモリブデン・ブルー溶液が得られる。青変する原因は、一部の Mo が還元され、混合原子価錯体になり、電荷移動が起こるためと考えられている。約 1 mol/L の硫酸溶液中で還元発色させた場合、吸収が最大となる波長は約 820 nm、これより低い酸濃度では約 650 nm となる。このモリブデン・ブルー溶液の 820 nm あるいは 650 nm の吸光度を分光光度計で測定することで、リン酸イオンが定量される。

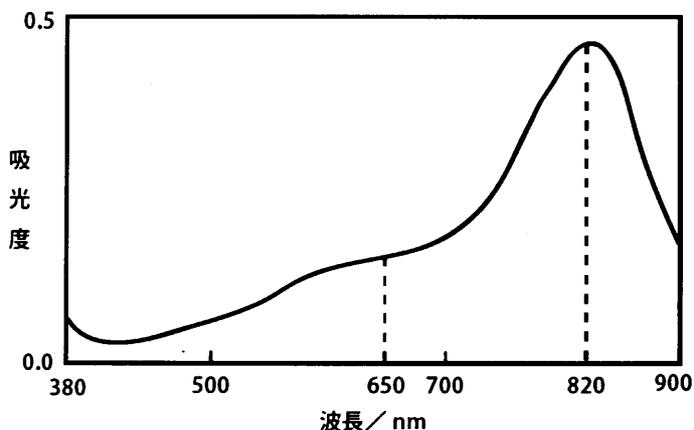


図2 モリブデン・ブルー溶液の吸光度

- (1) 下線部(b)のリンモリブデン酸錯体中の Mo の価数を答えなさい。
- (2) 図 2 を用いて、モリブデン・ブルー溶液が青色を示す理由を簡潔に説明しなさい。
- (3) 溶液の吸光度はランベルト・ベールの法則に従った式で表される。吸光度を  $A$ 、入射光の強度を  $I_0$ 、透過光の強度を  $I$ 、モル吸光係数を  $\epsilon$ 、溶液のモル濃度を  $c$ 、溶液セルの光路長を  $l$  としたとき、以下の①、②の関係を表す式をそれぞれ答えなさい。
- ①透過度と吸光度の関係
  - ②溶液の吸光度と溶質濃度の関係
- (4) ある湖水試料を 10 倍希釈した後、モリブデン・ブルー溶液の吸光度を測定したところ 0.294 となった。一方、標準溶液の吸光度は、 $0.100 \mu\text{g PO}_4^{3-}/\text{mL}$  のとき 0.230、 $0.200 \mu\text{g PO}_4^{3-}/\text{mL}$  のとき 0.454 であった。この湖水のリンの濃度 (mg/L) を求めなさい。ただし、必要であれば、リンの原子量 31.0、酸素の原子量 16.0 を用いなさい。

## E (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  $\omega_0$  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  $\omega$  とする．ここで， $v$ ， $\omega$  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．

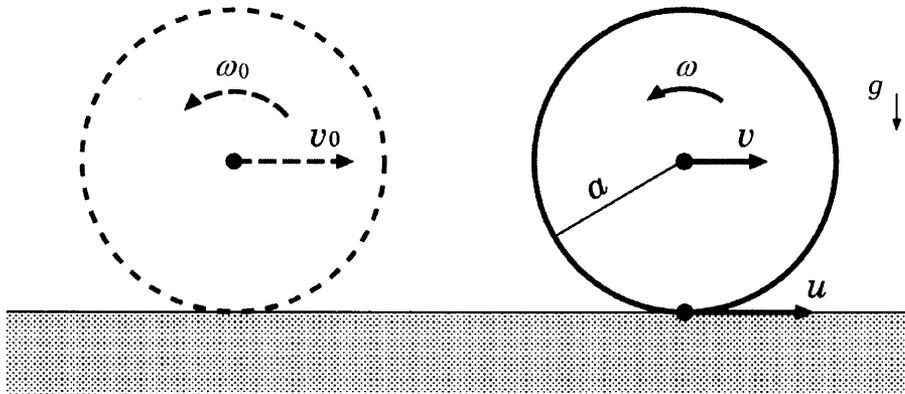


図 1. 進行方向に対して逆回転させた球の運動

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  $\mu$  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  $\omega$  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  $v$ ， $\omega$ ， $u$  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  $\omega_0$  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  $\omega_0$  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  $\omega'$  を求め、 $v'$ 、 $\omega'$  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 一方の端を壁に固定されたバネの他端に質量 $m$ の質点をつなげた系が、摩擦のない滑らかな水平面上に置かれている。バネの伸びる方向に $x$ 軸の正方向をとり、バネの自然長状態での質点の位置を $x = 0$ とする。バネの特性がゴムのように温度 $T$ に依存して変化する場合の力学および熱力学について、バネの体積 $V$ の変化を無視し、等温過程を考えることにより、以下の問1～問3に答えなさい。

問1 バネ定数を $k$  (一定) として、時刻 $t = 0$ において  $x = x_0 (> 0)$ ,  $\frac{dx}{dt} = 0$  となる初期条件により質点を運動させたとき、初めて $x = 0$ となる時刻 $\tau$ を求めなさい。

問2 温度に依存したバネ特性の熱力学的性質について、以下の小問(1)～(4)に答えなさい。

- (1) 質点を力 $f$ で引き、バネを微小長さ $dx$ だけ準静的に伸ばす操作に必要な微小仕事 $dW$ を求めなさい。
- (2) バネのエントロピーを $S$ とし、(1)の操作を温度 $T$ の状態で行ったときのバネの内部エネルギーの微小変化 $dU$ を、熱力学の第一法則と(1)で求めた $dW$ を考慮して求めなさい。
- (3) このバネにおいて有効な熱力学ポテンシャルと考えられるヘルムホルツの自由エネルギー $F$ の微小変化 $dF$ を(2)の結果を用いて求めなさい。
- (4) 以上で求めた $dF$ の形から次のマクスウェルの関係式を導きなさい(ただし、括弧右下の添字は微分する際に一定とする変数を表す)：

$$\left(\frac{\partial f}{\partial T}\right)_{V,x} = -\left(\frac{\partial S}{\partial x}\right)_{V,T}$$

問3 問2で求めた関係に従うバネをある温度環境下で伸ばして固定し、固定に要する力 $f$ を測定した。この測定を温度 $T$ を変化させ繰り返し行った結果、ある温度範囲( $T_{\text{low}} \leq T \leq T_{\text{high}}$ )で $f$ が $T$ の増加関数となることが分かったとする。このとき、以下の小問(1)、(2)に答えなさい。

- (1) このような特性を持つバネを温度 $T$  ( $T_{\text{low}} \leq T \leq T_{\text{high}}$ )で等温的に伸ばしたときのエントロピーの変化について定性的に説明しなさい。
- (2) このような特性を持つバネと質量 $m$ の質点を用いて、温度 $T$  ( $T_{\text{low}} \leq T \leq T_{\text{high}}$ )で等温的に問1と同様の初期条件( $t = 0$ で $x = x_0 (> 0)$ ,  $\frac{dx}{dt} = 0$ )により質点を運動させ、時刻 $\tau$ (初めて $x = 0$ となる時刻)を測定する。この測定において、 $T$ を増加させたときの $\tau$ の変化について定性的に説明しなさい。

## F (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  $-394 \text{ kJ mol}^{-1}$  および  $-110 \text{ kJ mol}^{-1}$  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 (CH<sub>3</sub>COOH) 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  $1.8 \times 10^{-4}$  および  $1.8 \times 10^{-5}$  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  $0.01 \text{ mol L}^{-1}$  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 ( $0.01 \text{ mol L}^{-1}$ ) とギ酸ナトリウム HCOONa ( $0.1 \text{ mol L}^{-1}$ ) 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。

$0.01 \text{ mol L}^{-1}$  のギ酸を水に溶かした時の電離度  $\alpha$  (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 )  $\text{mol L}^{-1}$  と近似できる。また、 $0.1 \text{ mol L}^{-1}$  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<sup>-</sup>) の濃度は ( ④ )  $\text{mol L}^{-1}$  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 )  $\text{mol L}^{-1}$  となる。この溶液を 100 倍にうすめると、HCOOH 濃度は ( ⑥ )  $\text{mol L}^{-1}$  となり、HCOO<sup>-</sup> 濃度は ( ⑦ )  $\text{mol L}^{-1}$  となり、水素イオン濃度は ( ⑧ )  $\text{mol L}^{-1}$  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 (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) 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 $7.0 \times 10^{-4}$  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 $4.0 \times 10^{-4}$  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。

## G (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。

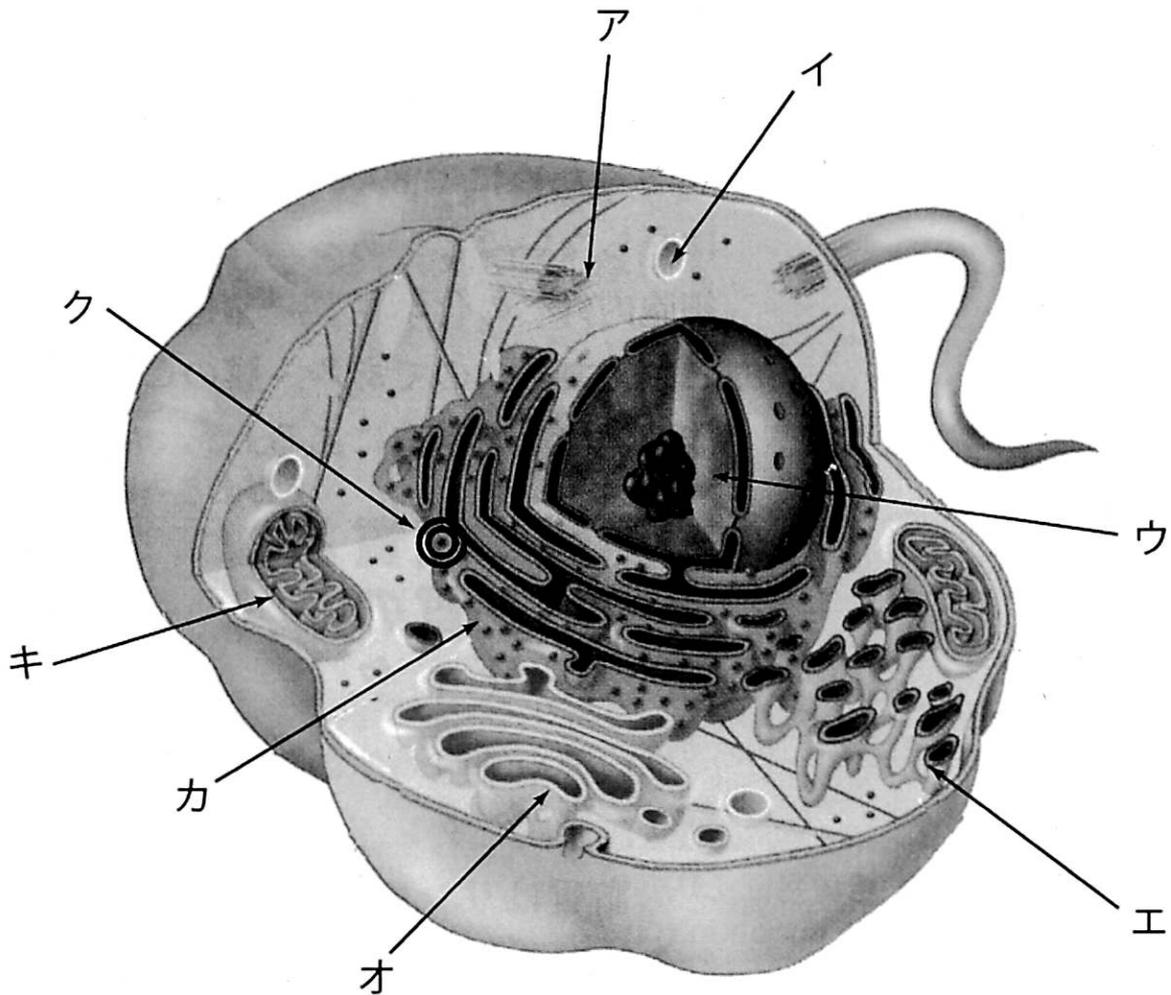


図1. 一般化した動物細胞の模式図。「ク」は、二重丸の円内のものを指す。

(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  $\beta$ -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 $\beta$ -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…)

```

@mreiv hiqag qcgnq igakf wevis dehgi dptgs yhgds dlqle rinvy
ynea gnkyv prail vdlep gtmds vrsqp fgqif rpdnf vfgqs gagnn
wakgh ytega elvds vldv rkes scdcl qgfql thslg ggtgs gmgtl
liski reeyp drimm tfsv pspkv sdtv epyna tlvh qlven tdety
cidne alydi cfrtl klttp tygdl nhlv atmsg vttcl rfpqg lnadl
rklav nmvpf prlhf fmpgf aplts rgsq yralt vpelt qqmf aknmm
aacdp rhgry ltvaa vfrgr msmke vdeqm lnvqn knssy fvewi pnnvk
tavcd ipprg lkmsa tfign staiq elfkr iseql tamfr rkaf l hwytg
egmde mefte aesnm ndlvs eyqy qdata deqge feeeg eedea

```

図2.  $\beta$ -チューブリンのアミノ酸配列 (Krauchs et al., 1981 を改変). アミノ酸の一文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, 敢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.

一文字記号: 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 A 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		
		CUC: l	CCC: p	CAC: h	CGC: r		
		CUA: l	CCA: p	CAA: q	CGA: r		
		CUG: l	CCG: p	CAG: q	CGG: r		
	A	AUU: i	ACU: t	AAU: n	AGU: s		
		AUC: i	ACC: t	AAC: n	AGC: s		
		AUA: i	ACA: t	AAA: k	AGA: r		
		AUG: m, 開始	ACG: t	AAG: k	AGG: r		
	G	GUU: v	GCU: a	GAU: d	GGU: g		
		GUC: v	GCC: a	GAC: d	GGC: g		
		GUA: v	GCA: a	GAA: e	GGA: g		
		GUG: v	GCG: a	GAG: e	GGG: 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。

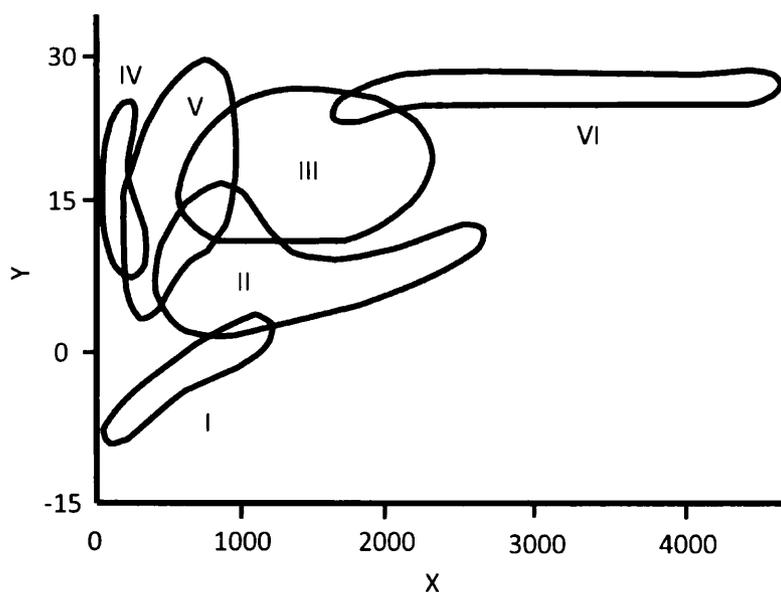


図3. 北アメリカの主要なバイオームのクライモグラフ

(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。

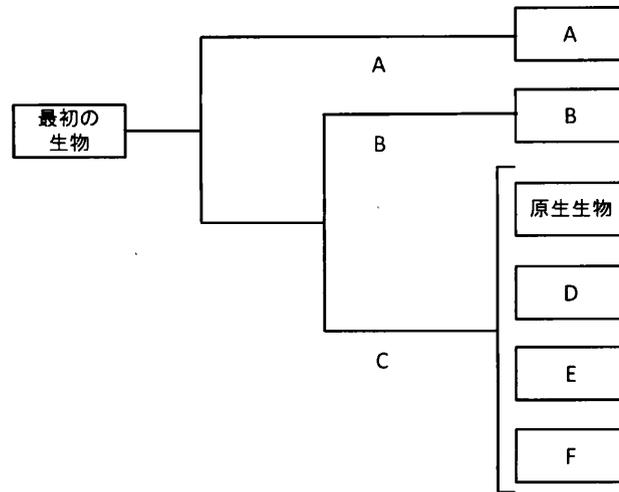


図4. 3ドメイン分類体系. 原生生物は藻類を含むものとする.  
(Simon et al., 2014: 「エッセンシャルキャンベル生物学」を改変)

- (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。

## H (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。

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

$$\text{問2} \quad f(x) = -4x \log x$$