

# 令和4年4月入学 総合研究大学院大学複合科学研究科

## 極域科学専攻入学者選抜 専門科目 博士課程（5年一貫制）

### <注意事項>

- ・ 試験開始の合図があるまで、この問題冊子の中を見てはいけません。
- ・ 試験時間は120分です。
- ・ 試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁及び解答用紙の汚れ等に気付いた場合は、手を挙げて監督者に知らせなさい。
- ・ 問題及びページ番号は次のとおりです。計3問を選択して解答しなさい。3問は同一の分野から選択しても、別々の分野から選択しても構いません。

物理学1 p.1	物理学2 p.2	物理学3 p.3
化学1 pp.4-5	化学2 p.6	化学3 p.7
地球科学1 p.8	地球科学2 pp.9-10	地球科学3 pp.11-12
生物学1 p.13	生物学2 pp.14-15	生物学3 p.16
- ・ 解答用紙には罫線のもの、白紙のもの、マス目のもの3種類がありますが、どれを使用しても構いません。
- ・ 解答用紙がさらに必要な場合には、挙手をして監督者に知らせなさい。
- ・ 試験開始の合図後に、解答用紙の指定の欄に受験番号、氏名及び選択した問題を記入しなさい。解答用紙は1問ごとに別に作成しなさい。
- ・ 1問につき解答用紙が複数枚にわたる場合には、すべての解答用紙に受験番号、氏名及び選択した問題を記入し、さらに、解答用紙右下の所定の欄に、ページ数を記入しなさい（2枚の場合には、1/2、2/2、3枚の場合には1/3、2/3、3/3）。
- ・ 試験中は机の上の見やすい場所に受験票をおきなさい。
- ・ 試験中に机の上におけるのは、受験票の他、黒鉛筆、シャープペンシル、消しゴム、鉛筆削り（手動式のもの）、時計（計時機能だけのもの）です。
- ・ 耳栓は使用できません。
- ・ ハンカチ、ティッシュペーパー、目薬等の使用を希望する者は、監督者に申し出て許可を受けてから使用しなさい。
- ・ 試験時間中は、監督者の指示に従って下さい。従わない場合は退室させることがあります。
- ・ 不正行為と認められた場合は、受験自体を無効とします。
- ・ 試験室に入室してから試験終了までは、試験中の発病又はトイレ等やむを得ない場合を除いて原則として一時退室を認めません。やむを得ない場合には、手を挙げて監督者の指示に従いなさい。一時退室が認められた場合でも、原則として試験時間の延長は認めません。
- ・ 試験終了時間前に解答を終了した場合には退室を認めます。その場合には、手を挙げて監督者の指示に従いなさい。ただし、試験終了15分前以降試験終了までの間は、退室を認めません。
- ・ 試験終了5分前になったら、終了5分前の合図をします。
- ・ 試験終了後、問題冊子、解答用紙を持ち帰ってはいけません。

## <物理学 1>

問題1：以下の問いに答えよ。

(1) 地球上で重力が地上の高さによらず一定であるとしたとき、地上から初速度  $v_0$  で鉛直方向に投げ上げた物体が到達する高さ  $r$  を、 $v_0$  と重力加速度  $g$  を用いて表せ。空気による抵抗は無視できるものとする。

(2) 重力加速度が万有引力の法則により変わるとした場合、地上から初速度  $v_0$  で鉛直方向に投げ上げた物体が到達する高さ  $h$  を、(1) で求めた  $r$  と地球半径  $R$  を用いて表せ。空気による抵抗は無視できるものとする。

(3) (2) で求めた高さ  $h$  が、(1) で求めた高さ  $r$  の 1.5 倍となるとき、地球半径  $R$  を用いて  $h$  を表せ。

問題2：図1のような、糸の一端につけた質点が水平面内で等速円運動をする円錐振り子において、糸の長さを  $L$ 、質点の質量を  $m$ 、鉛直に対する傾きを  $\theta$ 、重力加速度を  $g$  としたときの、糸の張力  $T$  及び、振り子の周期  $t$  を求めよ。

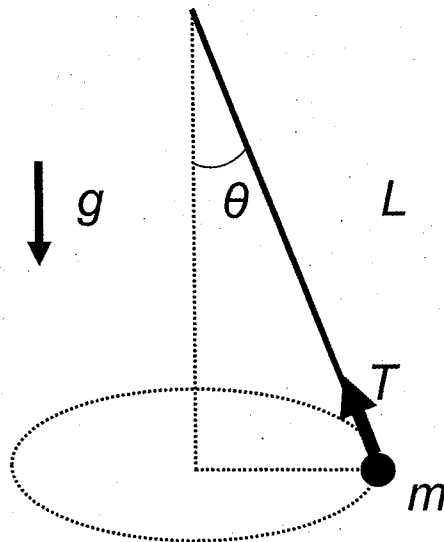


図1

## <物理学 2>

問題 1 :

自由電子が単位体積中に  $n$  個存在する金属がある。電子は速度  $v$  に比例する減衰力 ( $-k v$ 、ここで  $k$  は定数) を受けるとする。この金属に電場  $E$  を与えたとき、オームの法則が成り立つことを示せ。また、速度  $v$ 、定数  $k$ 、電荷素量  $e$  を用いて、電気伝導度  $\sigma$  を示せ。

問題 2 :

図 1 のように、原点から  $-a$  離れた位置に  $-Q$  の点電荷が、原点から  $a$  離れた位置に  $+Q$  の点電荷がある電気双極子を考える。これらの点電荷間の距離は、この双極子から十分遠く離れた点  $B(x, y)$  までの距離  $r$  ( $= (x^2 + y^2)^{1/2}$ ) に比べて微小とする。2 つの点電荷は真空中に置かれてあり、真空中の誘電率を  $\epsilon_0$  とする。

- (1) この電気双極子のモーメントの大きさ  $p$  を求めよ。
- (2)  $B(x, y)$  の位置における電位  $V$  を求めよ。
- (3)  $B(x, y)$  の位置における電場ベクトル  $E$  を求めよ。

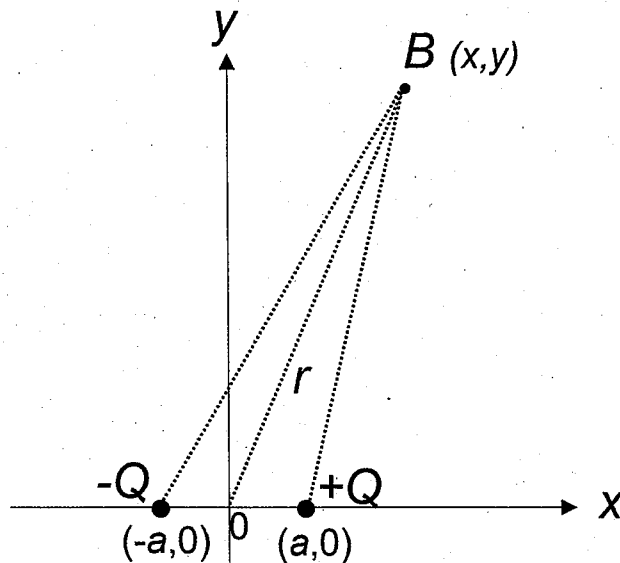


図 1

## <物理学 3>

問題：寒い極域での空調機の導入について検討を行う。以下の問いに答えよ。

- (1) まず、可逆サイクルからなる理想的なヒートポンプ式の空調装置を想定して導入を検討する。屋外から空調機が取り込む熱を  $Q_1$  ( $> 0$ )、屋内に空調機が吐き出す熱を  $Q_2$  ( $> 0$ )、サイクルを動かすために空調機がする仕事を  $w$  ( $> 0$ ) とする時、エネルギー収支を考えて、 $Q_1$ 、 $Q_2$ 、 $w$  の関係を示せ。
- (2) (1) の理想空調機を動かして外気温が  $T_1$  のもと、室温を  $T_2$  に保つことを考える。この空調機について、屋外から取り込むエントロピーと室内に排出されるエントロピーの関係を示せ。また、(1) の結果と併せて、仕事  $w$  により室内に吐き出される熱  $Q_2$  と  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $w$  の関係を表せ。
- (3) ある燃料油は 1 kg あたり  $1.0 \times 10^4$  kcal の熱を発生するとし、この燃料油を用いて火力発電を行ったときの電力変換効率は 30% であるとする。外気温  $T_1$  が  $0^\circ\text{C}$  の状態で、室温  $T_2$  を  $25^\circ\text{C}$  に保ちたいとき、この燃料油から得た電力で (2) の理想空調機に仕事をさせる方が、燃料油を直接燃やして熱を得る空調機よりも多くの熱を取り出せることを、式から導出される数値を用いて示せ。なお、 $0^\circ\text{C}$  を  $273\text{K}$  とする。
- (4) (3) の結果が、エネルギー保存則に反してはいないことを説明せよ。
- (5) 現実の空調機は可逆サイクルではないため、実際に外気から取り出せる熱は (3) で得られた理想的な値の半分以下にもなりうる。 $-45^\circ\text{C}$  程度まで外気温が下がりうる昭和基地にヒートポンプ式空調機を導入することが効果的かどうかを、(2) および (3) の結果に基づくエネルギー効率の観点から考察し、その内容を示せ。

## <化学 1 >

### 問題 1

At (アスタチン) はハロゲンのなかで原子番号が最も大きい元素である。また、安定同位体をもたない放射性元素である。他のハロゲンの性質を参考とし、以下の At の性質を推定せよ。なお、それぞれの推定については、推定理由も簡潔に述べよ。

- (1) At は常温で固体、液体、気体のいずれであるか。
- (2) At の蒸気の分子式を記せ。
- (3) At のナトリウム塩の化学式を記せ。
- (4) At のナトリウム塩の水溶液に塩素を作用させるとどうなるか。化学式を示し説明せよ。

### 問題 2

以下に、地球上で容易に起こりうる化学平衡の事例を 2 つ挙げる。相当する化学平衡を式として記述せよ。

- (1) 炭酸ガスが水に溶け込むことにより起こる電離平衡
- (2) 海水中の炭酸カルシウム濃度を考える際の、沈殿-溶解平衡

問題 3 以下の問いに答えよ。

- (1) 硫黄 1.0kg を完全に硫酸に変えたとすると、98%硫酸は何 kg できるか。なお、式量は  $\text{H}_2\text{SO}_4 = 98$  とする。
- (2) モル濃度  $C$  (mol/L)、密度  $d$  (g/cm<sup>3</sup>) の溶液の質量パーセント濃度を求めよ。ただし、溶質 1 mol あたりの質量を  $M$  (g/mol) とする。

(次ページへ続く)

#### 問題 4

地球という惑星の表面に、水の固相・液相・気相から成る諸現象や生命が存在するのは、水の特性的ためといえる。水は非常に特異な物質であり、たとえば、以下の3つの事例を挙げることができる。

- ・融解や蒸発の潜熱が、ほぼ同等の分子量をもつ物質と比べて大きい。
- ・融点や沸点もほぼ同等の分子量をもつ物質と比べて高い。
- ・固体の氷が液体の水よりも軽い「異常液体」である。

これらのことを踏まえて、以下の問いに答えよ。

(1) 上に列記した水の特異な性質をもたらす結合は何か。

(2) 沸点・融点が高い理由を、水分子の構造の特徴から考察せよ。  
なお、解答の文字数は100文字～200文字を目安とすること。

## <化学 2>

問題 1 : 希硫酸中 ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) に亜鉛板 (Zn) と銅板 (Cu) を離して浸し、両板を電線でつなぐと電流が流れる。この現象について、以下の問いに答えよ。

- (1) 亜鉛板と銅板で起こる反応を電子  $e^-$  を用いた反応式で示せ。
- (2) 亜鉛板と銅板で起こる反応のうち、どちらが酸化反応か答えよ。
- (3) 亜鉛板と銅板のうち、どちらが正極か負極かをイオン化傾向を使って説明せよ。

問題 2 : 物質を分離する方法について以下の問いに答えよ。

- (1) ろ過、蒸留、分留、再結晶、抽出について、それぞれ 100 字程度で操作と実例を説明せよ。
- (2) 物質の分離方法の代表的な方法としてクロマトグラフィーがある。以下の語句をすべて使い、クロマトグラフィーについて 200–250 字程度で説明せよ。

固定相、移動相、親和性、保持 (展開) 時間、濃度

## <化学3>

問題1：以下に挙げた語句の中から2つを選択し、それぞれについて100-150字程度で簡潔に説明せよ。

- ・遷移元素
- ・極性分子
- ・同位体分別
- ・化学ポテンシャル

問題2：陸域、大気、海洋における硫黄の存在様式と循環について、300-400字程度で説明せよ。



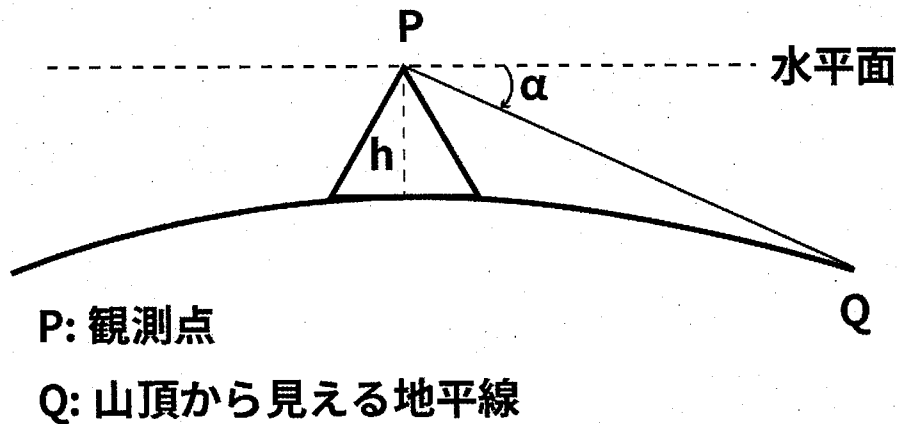
## <地球科学 1 >

問題：以下に挙げた語句の中から4つを選択し、それぞれについて150字程度で簡潔に地球科学的説明を与えよ。

- ・フィッシュトラック年代測定
- ・コンドリュール
- ・ゲーテンベルク不連続面
- ・海洋同位体ステージ
- ・背弧海盆
- ・累進変成作用
- ・メタンハイドレート
- ・フィヨルド

## <地球科学 2>

問題：図のように富士山のような孤立峰の山頂(点 P)に測地用の 2 周波 GNSS 受信機とアンテナを設置して 24 時間以上観測を行った。以下の問いに答えよ。



図：観測点と山頂から見える地平線の概念図

問 1：GNSS は略語である。元の名称とその和名を記述せよ。

問 2：GNSS で位置を測る原理を 200 字程度で簡潔に説明せよ。

問 3：近年、GNSS は地殻変動監視など、科学分野においても幅広く利用されている。地殻変動監視以外の科学分野での利用例を 3 つ記述せよ。

問 4：図の山の山頂 P で得られた GNSS データを解析したところ、高さ (h) は 3,822 m であった。この孤立峰の標高は 3,780 m とされており、測定結果とは 42 m の差が生じた。この理由として考えられることを 150 字以内で説明せよ。

(次ページへ続く)

問5：大気による屈折がない場合、山頂P点から眼下の地平線(点Q)を見ると、仰角 ( $\alpha$ : その地点の水平面と視線の角度。天頂方向が正) は-2度であった。地球が球であると仮定すると、ここまで得られた情報から地球の半径を求めることができる(中央アジア出身のビールーニーが11世紀初頭に地球の半径を求めた方法である)。球を仮定した場合の地球の半径を有効数字3桁で求めよ。ただし、途中の計算は有効数字4桁とし、考え方を示す図や途中の計算も記述すること。また、 $0.9988^{0.5} = 0.9994$  とする。

問6：観測中に、地平線よりも下にあるはずのGNSS衛星からの電波が受信された。この理由を図なども用いて述べよ。ただし、大気屈折率は乾燥大気圧と水蒸気分圧に比例することを考慮せよ。

### <地球科学3>

問題1：図1はマウナロア（ハワイ）、昭和基地（南極）、綾里（岩手県）の3地点で観測された大気中の二酸化炭素濃度の経年変化である。

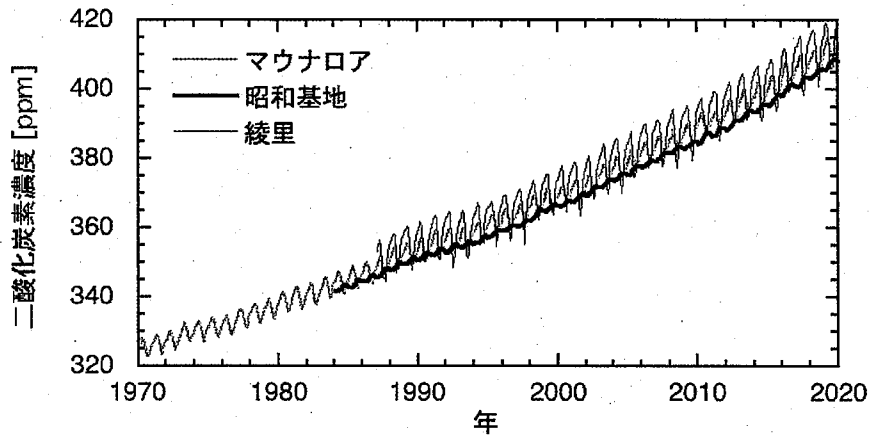


図1

- (1) どの地点においても二酸化炭素濃度が年々増加している理由を述べよ。
- (2) 昭和基地の二酸化炭素濃度は年平均値にすると3地点の中で最も低い理由を述べよ。
- (3) マウナロアと綾里の二酸化炭素濃度は昭和基地に比べて季節変化が大きい理由を述べよ。

問題2：容積  $0.03 \text{ m}^3$  まで耐えられる気球を用いて、高度  $5.5 \text{ km}$  でその気球を破裂させずに質量  $0.02 \text{ kg}$  の乾燥空気をつめることができるか述べよ。この高度の気圧は  $500 \text{ hPa}$ 、気温は  $-23 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $250 \text{ K}$ )、乾燥空気の気体定数  $R_d = 287 \text{ [J kg}^{-1}\text{K}^{-1}]$  とする。解答には計算の過程も示せ。

(次ページへ続く)

問題3：放射平衡にある大気の温度の高度分布を見積もるために、図2のように $n$ 層の大気があると仮定する。ここで、地表面の絶対温度を $T_0$ 、各大気層の絶対温度を $T_1 \sim T_n$ とする。計算を簡単にするために、次の仮定をおく。

- (a) 各大気層は太陽放射（放射量 $I_0$ ）に対して透明である。
- (b) 各大気層の赤外（地球）放射に対する吸収率は波長によらない。
- (c) 地表面と各大気層からの赤外放射（放射量 $F_0 \sim F_n$ ）は、そのすぐ上または下の大気層、または地表面によって完全に吸収される。

ここで、 $I_0$ と $F_0 \sim F_n$ の単位は単位面積当たりの放射束密度 [ $\text{W m}^{-2}$ ]とする。以下の問いに答えよ。

(1) ステファン・ボルツマンの法則を用いて、 $F_0 \sim F_n$ を $T_0 \sim T_n$ であらわせ。ここで、ステファン・ボルツマン定数を $\sigma$ とする。

(2) 地表面と各大気層が放射平衡にあるとし、(1)の結果に基づき、地表面と各大気層におけるそれぞれの放射収支の式を $I_0$ と $T_0 \sim T_n$ であらわせ。

(3) (2)の連立方程式を解いて、 $T_0$ を $T_n$ と $n$ の関数としてあらわせ。解答には計算の過程も示せ。

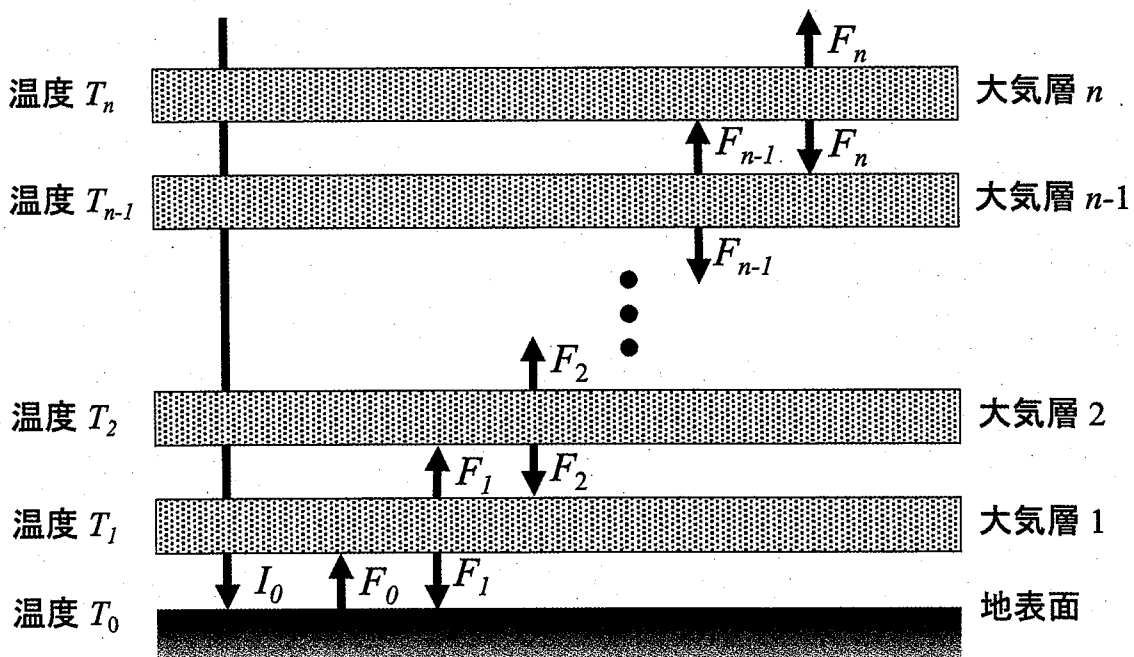


図2

## <生物学 1 >

問題：以下に挙げた用語の中から4つ選択し、それぞれについて150字程度で簡潔に生物学的な説明を与えなさい。

- (1) 代替的繁殖戦略
- (2) 補償深度と臨界深度
- (3) 順応と順化
- (4) 栄養段階
- (5) 光-光合成曲線
- (6) 基本ニッチと実現ニッチ
- (7) レッドフィールド比
- (8) 系統分類

## <生物学 2>

問題：以下の文章を読み、問1から問4に答えよ。

生物多様性は、自然現象や人間活動によって維持されたり、変化したりすることがある。自然界では、噴火や台風、山火事、河川の氾濫、土砂崩れなど、生物群集や生態系に大きな影響を与える現象が起こる。このような現象を攪乱という。人間が森林を伐採したり、河川を改修したりする活動も攪乱の一つと考えられる。

アメリカの生態学者 Connell は、グレートバリアリーフ、ヘロン島でのサンゴ礁におけるサンゴの種数と生きたサンゴが海底を占める割合（被度）の関係（図1）などを元に、中程度の適度な攪乱がある状態で種の多様性が最大になるという中規模攪乱説を提唱した。

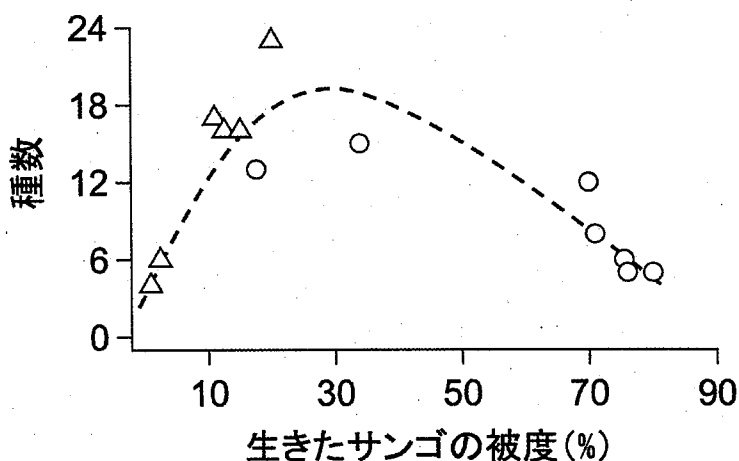


図1. サンゴの種数と被度の関係。サンゴ礁の中で強い波浪の影響を受けやすい斜面（△）とほとんど波浪の影響を受けない斜面（○）における、20 m の調査線上でのサンゴの種数の記録。

問1. 「種」は生物学的にどのように定義されるか、50字程度で記せ。

問2. 図1において、ほとんど波浪の影響を受けない斜面で、生きたサンゴの被度が高いときに種数が少ない理由は何か。100字程度で説明せよ。

(次ページへ続く)

問3. 生物多様性は遺伝的多様性、種多様性、生態系多様性という3つの階層から捉えることができる。遺伝的多様性が低下した時にはどのような問題が生じるか、150字程度で説明せよ。

問4. 地域スケールで見た場合、種多様性は熱帯で最も高く、緯度が高くなると低下することが、多くの生物群において知られている。こうした種多様性の緯度勾配をもたらすと考えられる生態学的な要因を2つ挙げ、またその2つの要因がどのように種多様性の緯度勾配をもたらすのか、それぞれ150字程度で論ぜよ。



## <生物学3>

問題：以下の文章を読み、問1から問4に答えよ。

生物の生活史において、繁殖のスケジュールは齢を横軸として、縦軸に産仔数を表した繁殖曲線で示される。たとえば草本には1年の間に芽生え、開花し、結実させたあと枯死してしまう「一年生」の種と、何年にも渡って毎年開花結実する「多年生」の種がある。一年生草本のように1回の繁殖期間に生涯の繁殖活動のすべてを終わらせてしまうことを(ア)、多年生草本のように、一生の間に何回も繁殖を繰り返すことを(イ)という。

(ア)と(イ)の違いは現時点で保有している体内資源をすべて繁殖に振り向けるか、それとも一部を成長・生存と将来の繁殖に残しておくかという資源配分の違いである。どちらが有利かは繁殖を行うことで生存率がどれだけ低下するかという(ウ)の大小によって決まる。すなわち、(ウ)は現在の繁殖と将来の繁殖とのトレードオフをもたらすのである。個々の生物は、このトレードオフを制約としながら、(エ)を最大化させるような生活史戦略を進化させてきたと考えられる。

- 問1. 上の文章中の(ア)～(エ)に当てはまる適切な言葉を入れよ。
- 問2. 生活史戦略の進化に関して、アメリカの生態学者 MacArthur と Wilson は異なる環境条件の下で、r 戦略、K 戦略と名付けられる2つの生活史戦略が進化するという仮説を提示した。r 戦略と K 戦略について、2つを対比させながら、200字程度で説明せよ。
- 問3. 成熟個体の死亡率が、繁殖とは直接関係のない捕食などの原因によって高い場合には、次の①、②のどちらの生活史戦略が有利になると考えられるか。①と②のどちらかを選び、そのように考えた理由を150字程度で説明せよ。
- ① 1回の繁殖期間に生涯の繁殖活動のすべてを終わらせてしまう戦略
  - ② 一生の間に何回も繁殖を繰り返す戦略
- 問4. 生物の生活史特性が人間活動の影響によって進化する可能性について、200字程度で論ぜよ。