

日本生物学オリンピック  
2019

第 31 回国際生物学オリンピック（長崎大会）

代表選抜試験 第 1 部（記述式理論問題）

2020 年 3 月 20 日（金、休日） 9:20-11:40

注 意

1. 各問題文を読んで、題意に沿った解答を、文章（指定された場合は、図、表）によって解答しなさい。
2. 解答は、問題ごとに指定された解答用紙に記入しなさい。字数制限は特にありません。
3. 学術用語は、日本語または英語で正しく用いなさい。
4. 解答時間は、2 時間 20 分とします。
5. すべての解答用紙に、問題番号、受験番号、氏名を記入しなさい。
6. 問題は全部で 7 問あり、その中には小問がいくつかあります。
7. 問題冊子は試験終了後持ち帰って下さい。

受験番号\_\_\_\_\_

氏名\_\_\_\_\_



## 第 1 問（細胞生物学）

次の文を読み、問 1～問 3 に答えなさい。

生物と非生物を区別する性質の一つに生物が自分自身を構成する細胞と同じ細胞を自己複製する能力があるかどうかにある。生命の連続性は細胞の自己複製、すなわち細胞分裂によって行われている。しかしながら細胞分裂は細胞周期の一部の過程である。細胞は分裂を繰り返して自己複製をして行くが、この時 DNA 複製も行う。この様にして細胞増殖は行なわれるが、体を構成するにはそれぞれの細胞がその後分化し構造と機能を持たなければならない。つまり細胞分化が必要である。ここでは動物細胞を例にとり、細胞が細胞分裂・増殖をし、細胞分化を繰り返しながらやがて、有機体として一つの個体を作り上げて行く過程について考える。

問 1 （ア）細胞分裂と細胞周期の関係を模式図で示して、（イ）それについて簡単に説明しなさい。（ウ）次に細胞周期の制御にかかわる因子（分子名）を二つあげなさい。

問 2 細胞分裂期はいくつかの段階に分けられる。それぞれの段階でどのような変化が見られるかを簡単に述べなさい。その時、下記に示した用語を用いなさい。

動原体、紡錘体、微小管、染色体、中心体、

問 3 細胞が分裂して増殖して行き、その後、細胞はそれぞれ、固有の機能と構造をもつ細胞へと分化して行く。細胞分化の過程では染色体の中の遺伝情報を持つ DNA 鎖から mRNA 合成の転写が重要である。下記の用語について簡潔にそれぞれ説明しなさい。

クロマチン、ヌクレオソーム、ヒストン、RNA ポリメラーゼ

（第 1 問の終わり）

## 第 2 問（遺伝学）

次の文を読み、問 1 ～問 6 に答えなさい。

DNA の塩基配列の情報に基づいてタンパク質を合成する機構は、全ての生物で基本的には共通であるが、<sup>(ア)</sup> 原核生物と真核生物との間にはいくつかの点で大きな差異がある。一方ウイルスは、ゲノムを構成する核酸は DNA だけではなく、RNA のものもあり、大きさや形態は様々である。

RNA ウイルスの一種である HIV ウイルスは、ウイルス外被の糖タンパク質により、ヒトのリンパ球 T 細胞の表面に存在する C 受容体に接着し、<sup>(イ)</sup> その細胞に侵入し、<sup>(ウ)</sup> ヒトのゲノムに自分の遺伝子を挿入することが知られている。HIV ウイルスが増殖すると、免疫不全による様々な病気を発症しやすくなる（AIDS）。ヒト集団には野生型の C 受容体遺伝子の他に、<sup>(エ)</sup> そのコード領域に 32 塩基対の欠失をもつ変異型の対立遺伝子 cが存在する。<sup>(オ)</sup> この遺伝子のヘテロ接合体の頻度は通常約 20%であるが、HIV に接触しながら AIDS を発症しないヒト集団での頻度は約 40% である。

図 1 に野生型の C 受容体遺伝子の塩基配列の一部を、対応するポリペプチド鎖のアミノ酸ごとに区切って示した。配列の上の数字は対応するアミノ酸残基の番号を示し、野生型の C 受容体の全長（352 アミノ酸残基）の内の 171 番目（リシン）から 230 番目（アルギニン）に相当する。また、変異型対立遺伝子 c の塩基配列における欠失領域を下線で示した。mRNA とアミノ酸の対応関係は図 2 の通りである。

問 1 下線部（ア）について、重要な違いを 3 点述べなさい。

問 2 下線部（イ）について、HIV ウイルスを構成する物質のうち、細胞に侵入するものを全て述べなさい。

問 3 下線部（ウ）を行うためには、HIV ウイルスは細胞質と核内でどのようなはたらきをする酵素を必要とするか述べなさい。

問 4 下線部（エ）について，変異型対立遺伝子から得られるポリペプチド鎖の配列と長さを記しなさい。

問 5 下線部（オ）の理由として，考えられることを述べなさい。

問 6 下線部（オ）で示したヘテロ接合体の頻度を求めるための、実験方法を提案しなさい。プライマーを使う場合には、その配列も記しなさい。

```

171                                     180
5' AAA GAA GGT CTT CAT TAC ACC TGC AGC TCT
181                                     190
   CAT TTT CCA TAC AGT CAG TAT CAA TTC TGG
191                                     200
   AAG AAT TTC CAG ACA TTA AAG ATA GTC ATC
201                                     210
   TTG GGG CTG GTC CTG CCG CTG CTT GTC ATG
211                                     220
   GTC ATG TGC TAC TCG GGA ATC CTA AAA ACT
221                                     230
   CTG CTT CGG TGT CGA AAT GAG AAG AAG AGG 3'

```

図 1 c 受容体遺伝子の塩基配列の一部とポリペプチド鎖のアミノ酸番号

|                |            |               |               |
|----------------|------------|---------------|---------------|
| UUU } フェニルアラニン | UCU } セリン  | UAU } チロシン    | UGU } システイン   |
| UUC }          | UCC }      | UAC }         | UGC }         |
| UUA } ロイシン     | UCA }      | UAA } 終止暗号    | UGA } 終止暗号    |
| UUG }          | UCG }      | UAG }         | UGG } トリプトファン |
| CUU }          | CCU }      | CAU } ヒスチジン   | CGU }         |
| CUC }          | CCC } プロリン | CAC }         | CGC } アルギニン   |
| CUA }          | CCA }      | CAA } グルタミン   | CGA }         |
| CUG }          | CCG }      | CAG }         | CGG }         |
| AUU }          | ACU }      | AAU } アスパラギン  | AGU } セリン     |
| AUC } イソロイシン   | ACC }      | AAC }         | AGC }         |
| AUA }          | ACA }      | AAA } リシン     | AGA } アルギニン   |
| AUG } メチオニン    | ACG }      | AAG }         | AGG }         |
| GUU }          | GCU }      | GAU } アスパラギン酸 | GGU }         |
| GUC }          | GCC } アラニン | GAC }         | GGC } グリシン    |
| GUA }          | GCA }      | GAA } グルタミン酸  | GGA }         |
| GUG }          | GCG }      | GAG }         | GGG }         |

\*四種の塩基 U:ウラシル、C:シトシン、A:アデニン、G:グアニン  
 \*AUGは開始暗号(読み取り始め)としてもはたらく。

図 2 遺伝暗号表

(第 2 問の終わり)

### 第 3 問（植物生理学）

被子植物の生殖および発生に関する次の文を読み、問 1 ～ 問 3 に答えなさい。

有性生殖では、一般的に一对の雌雄配偶子が融合（受精）し、両親の遺伝情報（ゲノム）を合わせもつ受精卵が生じる。

被子植物の雌性配偶体（胚のう）は、1 個の卵細胞（核相  $n$ ）、1 個の中央細胞（ $2n$ ）、2 個の助細胞（ $n$ ）および複数個の反足細胞（ $n$ ）からなる。雄性配偶体である花粉は、雌ずいの柱頭に付着すると花粉管を発芽させ、花粉管は花柱内を伸長する。その後、花粉管は助細胞が分泌するガイダンス因子によって胚のうへと誘引され、2 個のうちの一方の助細胞内に侵入する。これにより、花粉管によって運ばれてきた 2 個の精細胞が胚のう内に放出され、それらが卵細胞および中央細胞とそれぞれ融合（受精）することで受精卵と一次胚乳細胞が生じ、被子植物の受精（重複受精）は完了する。このように重複受精が滞りなく進行した胚のうでは、花粉管の侵入を受けなかったもう一方の助細胞（未侵入助細胞）が崩壊するので、その胚のうに 2 本目の新たな花粉管が誘引されることはない。

一方、精細胞-卵細胞の融合と精細胞-中央細胞の融合のいずれか、または双方の過程の進行に不全が生じて重複受精が成立しなかった際は、未侵入助細胞は崩壊せずにガイダンス因子の放出を続け、2 本目の花粉管を誘引する。この 2 本目の花粉管によって胚のう内に新たに 2 個の精細胞が運ばれ、配偶子融合に用いられる。このように、被子植物は、1 本目の花粉管による受精不全を 2 本目の花粉管を誘引することで補っており、これは被子植物の受精リカバリー機構の一つと考えられている。

以下の実験 1 および実験 2 は、被子植物の生殖および発生機構を解析したものである。

## 【実験 1】

- ① 図 1 A および B に示した配列をコードする DNA を、遺伝子組み換え技術を用いてある種の被子植物 X のゲノム内に挿入し、それぞれを植物 X-A および植物 X-B とした。
- ② 図 2 のように、野生型の植物 X の雌ずいの柱頭に、植物 X-A および X-B から得た花粉をほぼ同量付着（受粉）した。
- ③ 数週間後に上の②の受粉によって生じた種子の内部を蛍光顕微鏡で観察したところ、低頻度ではあったが GFP 蛍光を呈する胚をもつ種子が確認された。
- ④ 上の③で観察された GFP 蛍光を呈する胚の倍数性を調べたところ、3 倍体であった。

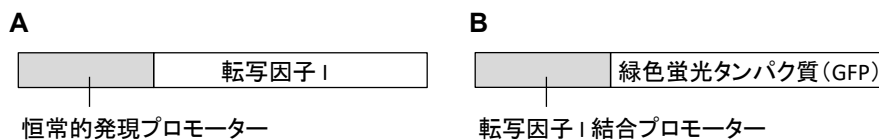


図 1 植物 X の遺伝子組み換えに用いた DNA

(A) どの細胞種においても下流の遺伝子を活発に発現させる恒常的発現プロモーター下に、転写因子 I をコードする DNA が存在する。(B) 転写因子 I タンパク質が結合すると下流の遺伝子が活発に発現されるプロモーター下に、緑色蛍光タンパク質 (GFP) をコードする DNA が存在する。

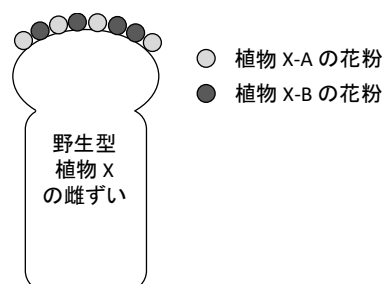


図 2

## 【実験 2】

- ① 下の図 3 のように、ある被子植物 Y の精細胞 2 個と卵細胞 1 個を人工的に融合させて受精卵を作製し、その多精受精卵を培養した。
- ② 上の①で作出した多精受精卵は、図 3 のように分裂・増殖し、植物体にまで成長した。
- ③ 上の②の受精卵、胚、および植物体の倍数性を調べたところ、3 倍体であった。

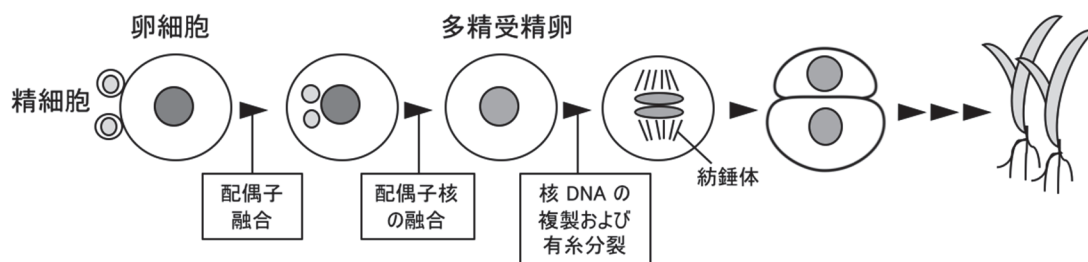


図 3 被子植物における多精受精卵の分裂、発生、および植物体への成長

細胞中の小丸および楕円形は、核および染色体をそれぞれ示す。

問 1 実験 1 について、GFP 蛍光を呈する胚がどのようにして生じたと考えられるか、答えなさい。

問 2 問 1 で答えたような機構で生じた胚は、通常の有性生殖で生じる胚とは異なる遺伝的特徴をもつ。どのような違いであるか、答えなさい。

問 3 実験 2 に示されたように、被子植物の多精受精卵は正常に分裂・発生して個体へと成長する。一方、多くの動物では、多精受精卵は発生不全を呈して胚性致死となる。この違いは、被子植物の細胞と動物細胞の違いに起因していると考えられており、参考として、下記 A-D に植物細胞と動物細胞の違いを列挙してある。被子植物と動物で多精受精卵の発生に違いが生じる理由を考え、答えなさい。

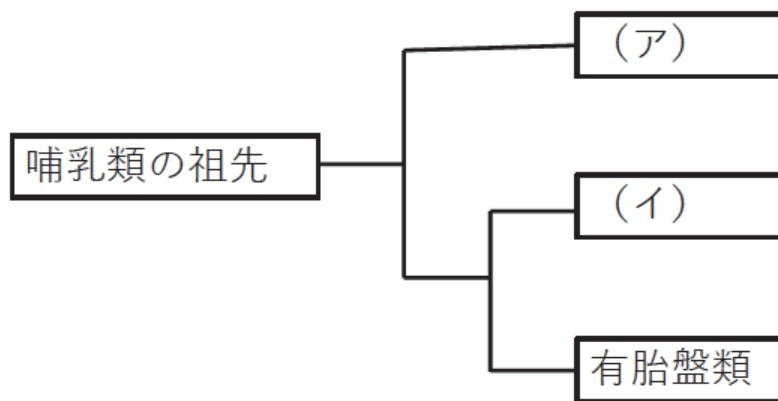
- A. 植物細胞は細胞壁を持つが、動物細胞は細胞壁を持たない。
- B. 細胞内の酸性コンパートメントとして、植物細胞は液胞という大型の細胞内小器官を持っているが、動物細胞はリソソームと呼ばれる小型の細胞内小器官を持っている。
- C. 動物細胞は中心体を持ち、多くの動物では中心体は精子由来である。一方、植物細胞は中心体を持たない。
- D. 植物細胞はプラスチドを持ち、多くの植物ではプラスチドは卵細胞由来である。一方、動物細胞はプラスチドを持たない。

(第 3 問の終わり)

#### 第4問（生殖生物学）

胎盤は哺乳類の有胎盤類の生殖にとってきわめて重要な器官である。胎盤の進化と構造・機能、生理に関する以下の問1～問3に答えなさい。

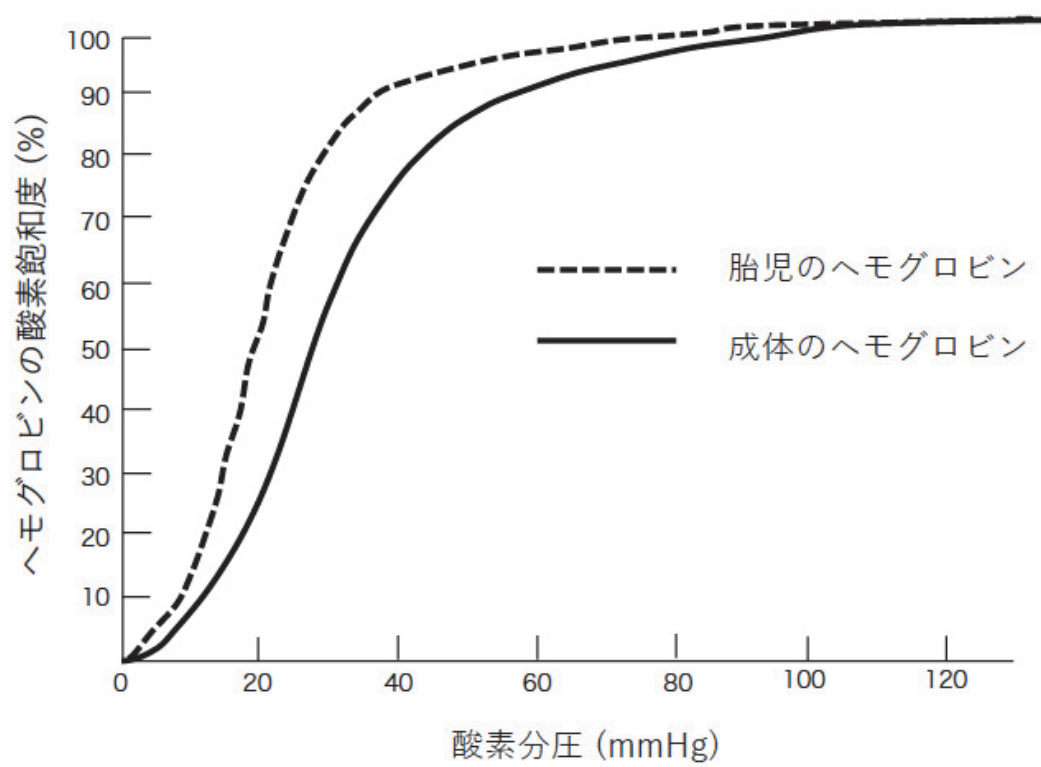
問1 下図は、哺乳類の系統樹である。（ア）と（イ）に入る分類群の名称を答え、（ア）と（イ）の分類群における胎児の発生と出生について、有胎盤類との違いに着目して説明しなさい。



問2 胎盤における母体と胎児の血液の流れについて、胎盤の形成過程に留意し、以下の用語を参考にして述べなさい（必ずしも用語すべてを解答に含めなくてもよい）。図を描いてもよいが、必ず文章で説明すること。

参考にする用語：胚盤胞の栄養外胚葉（栄養芽層）、着床、子宮内膜、血液プール（類洞）、絨毛、臍帯（へその緒）

問3 胎児は胎盤において母体の血液から酸素を供給される。次ページの図は、成体ヘモグロビンと胎児ヘモグロビンの酸素飽和曲線である。この図に基づいて、胎児が母体から酸素を効率よく受け取る仕組みについて説明しなさい。



(第4問の終わり)

## 第 5 問（動物生理学）

次の文を読み、問 1 ～問 5 に答えなさい。

動物において、受容器で受容された刺激の情報は神経により中枢へと送られ、中枢から効果器への情報も神経によりつたえられる。神経系を構成するニューロンの活動電位発生は全か無かの法則に従い、興奮は軸索上をデジタル信号のように伝えられる。

問 1 1 個のニューロンの活動電位発生は全か無かの法則にしたがうが、私たちはさまざまな感覚刺激の強度の違いを感じ取ることができる。感覚器で受容された刺激の強度はどのような形で中枢につたえられるか答えなさい。

問 2 シナプス後電位における時間的加重と空間的加重とはどのようなものか説明しなさい。

問 3 骨格筋において 1 本の筋繊維は 1 個の運動ニューロンからのみシナプスを受ける。すなわちニューロンとは異なり、筋繊維は 1 本のニューロンからの 1 回のシナプス入力で確実に収縮する必要がある。このため運動ニューロンが筋繊維に形成するシナプスは運動ニューロンの軸索終末が（同一筋繊維上で）細かく分枝し、筋繊維のシナプス後膜も折れたたまって表面積を大きくする特殊な構造を形成している。

（1）下線部について、その構造の名称を漢字 6 字で答えなさい。

（2）運動ニューロンから放出される神経伝達物質の名称を答えなさい。

問 4 1 個の運動ニューロンの興奮も全か無かの法則にしたがう。このような中で私たちはどのようにして骨格筋の収縮の強さを変えることができるか、簡潔に説明しなさい。

問 5 膝などの関節を伸ばすように作用する筋肉を伸筋といい、曲げるように作用する筋肉を屈筋という。伸筋と屈筋のように関節に反対

の運動をひきおこす筋肉はたがいに拮抗筋とよばれ、拮抗筋の一方が収縮する際には他方は弛緩することが知られている。図1は膝蓋腱反射に関連する筋肉やニューロンを模式的に示したものである。膝蓋腱反射は膝の伸筋が外力により引き延ばされたときにこれを収縮させてもとの長さに戻そうとする反射である。ネコを用いて図に示すように、膝の屈筋を支配する運動ニューロンの細胞体に微小な電極を挿入して膜電位を計測した。

(1) 図1では示していないがオシロスコープの基準電極はネコの脳脊髄液（脳や脊髄をひたしている液体）を模した溶液にひたされている。その目的は何か、述べなさい。

(2) 図1中の介在ニューロンは興奮性ニューロンか抑制性ニューロンか答えなさい。

(3) 伸筋の筋紡錘からの神経を図1中の刺激電極①により刺激して興奮させた場合、および屈筋の筋紡錘からの神経を刺激電極②により刺激して興奮させた場合のそれぞれについて、オシロスコープではEPSPとIPSPのどちらが検出されるか答えなさい。

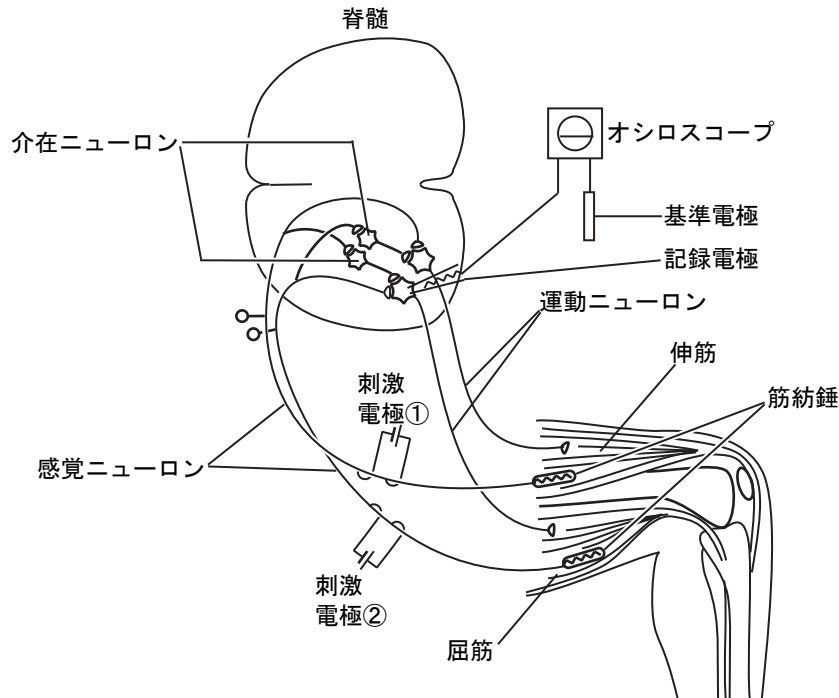


図1

(第5問の終わり)

## 第 6 問（植物生態学）

陸上での遷移に関する次の文を読み、問 1 ～ 問 4 に答えなさい。

図 1 は、ある火山島の成立年代が異なる 3 つの溶岩台地（図中の①～③）における樹木の胸高直径（地上約 1.3m 付近の幹の直径）とそれぞれの幹密度（1ha あたりの本数）を示したものである。火山の噴火によって生じる溶岩台地上では、一次遷移が進行し時間の経過とともに植物を中心とした生物の群集組成が変化することが知られている。さらに、生物の群集組成の変化とともに、様々な物質循環も変化することが知られている。

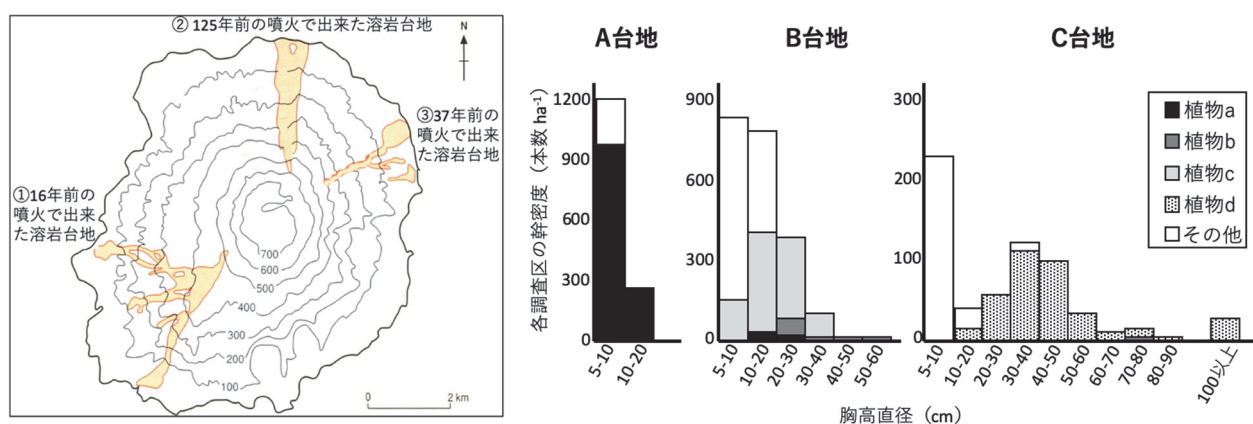


図 1. ある火山島における成立年代の異なる 3 つの溶岩台地の分布図（左）とそれぞれの溶岩台地上における出現植物の直径の頻度分布（右）

問 1 下線部アについて、必ず次の 2 つの用語（攪乱、土壌）を用いて、60 字以内で説明しなさい。

問 2 図 1 右側の 3 つの A、B、C 台地の結果は、左図の①～③のどの溶岩台地のものと考えられるか答えなさい。

下線部イに関連して、図 2 は陸上生態系における一次遷移にともなう炭素循環の経年変化を模式的に示したものである。

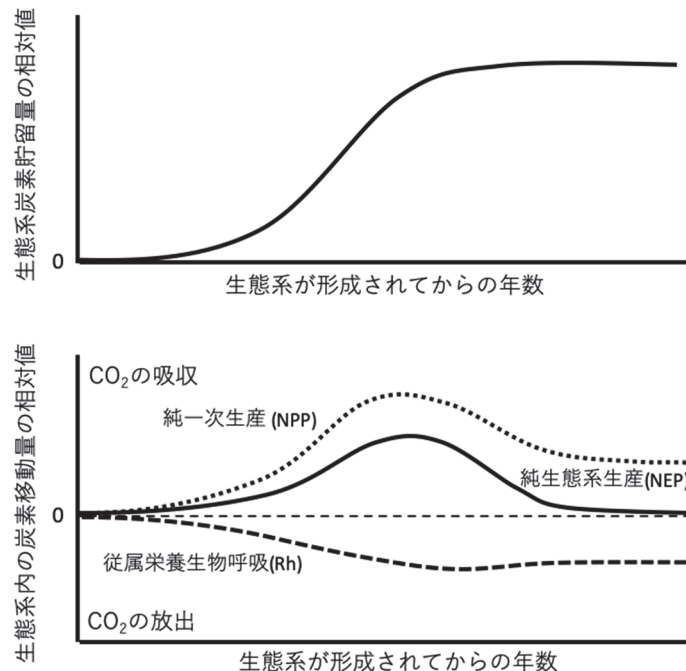


図 2. 一次遷移にともなう生態系内の炭素循環の模式図．下図の点線は純一次生産量（Net Primary Production）、実線は純生態系生産量（Net Ecosystem Production）、破線は従属栄養生物呼吸（Heterotrophic Respiration）を示す．

問 3 生態系純生産量（NEP）と純一次生産量（NPP）の違いについて、80 字以内で述べなさい。

問 4 NEP は、時間が経過するにつれて増加するが、途中で減少に転じ生態系が十分に成熟すると最終的にはほぼゼロになると考えられている。このように NEP が最終的にはゼロになる理由について、次の二つの用語（NPP と Rh）を必ず用いて 150 字以内で述べなさい。

（第 6 問の終わり）

## 第 7 問（動物生態学）

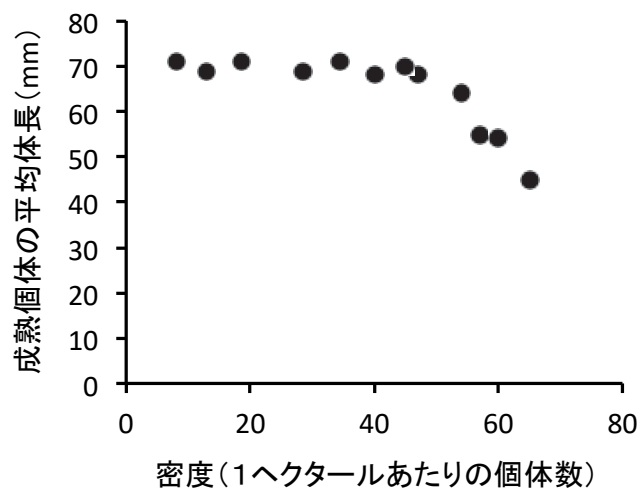
以下の問 1 ～問 3 に答えなさい。

問 1 10 ヘクタールの調査区の中に生息する A という種のトカゲの個体数を推定するため、標識・再捕獲法を用いた。最初の調査日に 86 個体を捕獲し、背面に油性マジックで記号を付けて捕獲場所に放した。3 日後に 2 回目の調査を行なった結果、64 個体が捕獲され、その内 16 個体に記号が付いていた。この調査区におけるトカゲの密度を 1 ヘクタールあたりの個体数として推定しなさい。ただし、3 日間に出生、死亡はなく、調査区からの移出、調査区内への移入はないものとする。また、記号は消えず、それによる悪影響もない。

問 2 自然環境に差がない 5 km 四方の区域内に、10 ヘクタールの調査区を 12 箇所設定し、標識・再捕獲法によって A の密度を推定すると同時に、成熟個体の体長（頭部先端から排泄孔までの長さ）を測定して平均値を求めた。成熟個体とは、性的に成熟した繁殖可能な個体である。このトカゲの生理的寿命は 5 年であり、いったん性的に成熟すると、体長はそれ以上大きくならない。下のグラフはその結果を示したものである。

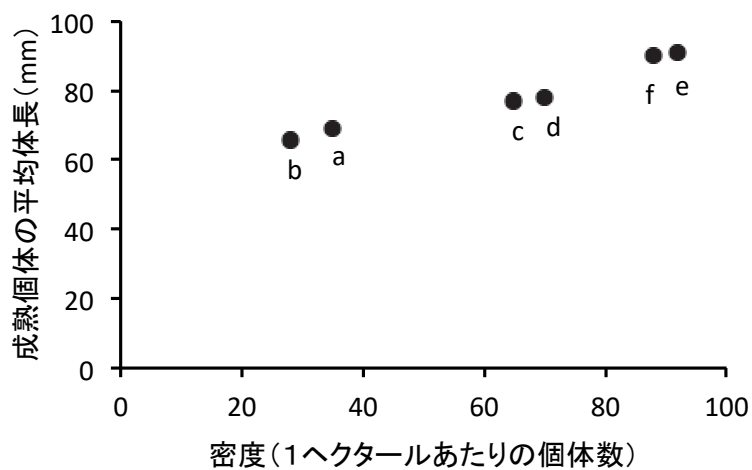
（1）このグラフから言えることを述べなさい。

（2）どうしてこのような結果となったのか、考察しなさい。



問3 a, b, c, d, e, f という 6 つの島からなる群島があり、そこに生息する A の密度と成熟個体の平均体長を島ごとに求めた結果、下のグラフが得られた。これらの島では、a と b にトカゲの天敵であるヘビ類とイタチ類が生息し、c と d にはヘビ類のみが生息し、e と f にはいずれも生息していなかった。

- (1) このグラフから言えることを 2 つ箇条書きにしなさい。
- (2) どうしてこのような結果となったのか、考察しなさい。



(第7問の終わり)





