

# 生 物

(生物基礎・生物)

(注意事項)

1. 解答開始の指示があるまで問題冊子を開いてはいけません。
2. 問題冊子と解答用紙は別になっています。
3. 解答用紙の各ページの所定欄に受験番号、氏名を記入しなさい。
4. 計算等が必要な場合は問題冊子の余白を利用しなさい。
5. 試験終了後は問題冊子を持ち帰りなさい。

## 生物

### 第1問 次の文を読み、以下の問いに答えなさい。

分子系統樹は異なる生物間でのDNAの塩基配列などの変化をもとに推定される。この変化は特定の遺伝子を構成するDNAの塩基配列に生物間で変異が生じた結果である。また、DNAの塩基配列やアミノ酸配列の変化の速度は一般に (a) と呼ばれている。共通祖先から分岐した生物群の、ある特定の遺伝子を構成するDNAの塩基配列の進化速度はほぼ等しいという仮定を置くと、生物間のDNAの塩基配列の違いの数によって生物の分岐年代を推定できる。表1は種A～Eの塩基配列の相違数である。

表1

	A	B	C	D	E
A	0				
B	46	0			
C	19	47	0		
D	12	45	21	0	
E	50	58	51	48	0

問1 空欄 (a) に入る語句を答えなさい。

## 生物

問2 種A～Dの系統関係を塩基配列の相違数から推定し、図1の系統樹の①～④にA～Dの記号を入れよ。ただし種Eが最も早くに分岐したことが分かっているものとする。

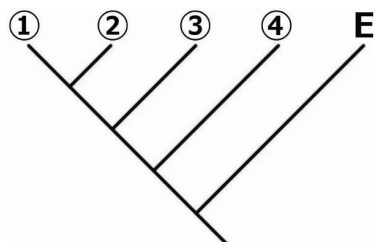


図1

問3 種Aと種Cが6500万年前に共通祖先から分岐したとすると、種Aと種Dが分岐したのは何万年前と推定されるか答えなさい。

## 生物

### 第2問 動物群に関する図1及び説明文A～Eを読み、以下の問いに答えなさい。

- A 発達した外骨格を持ち、体節構造が明瞭で、付属肢が多く関節で繋がるという形態的特徴を有する。体表はキチン質などで構成される薄い殻で覆われる。水陸両圏で多くの種が繁栄しており、分化が著しく進んだ分類群である。脱皮により成長し、発育段階によって形態が大きく変化する種もある。
- B 水圏に分布する種や寄生性の種が多い。体壁と内臓の諸器官の間の腔所(体腔)が存在せず、一般に平たい形態をしている種が多い。摂食は口から取り込む種、口がなく栄養分を体表から吸収する種がある。排出は体全体に分布した原腎管より濾し出す。循環系は発達せず、神経系はかご形神経系を有する。
- C 複雑な構造を持つ動物群で、発達した内骨格とその周りの筋肉により、高い運動能力を有する。脳を中枢とする神経系を有し、眼、鼻などの感覚器官も発達する。基本構造は頭部、胴部、尾部に分かれるが、水圏から陸圏に様々な種が分化し、生息環境に適応した形態は多様である。外呼吸については水中から酸素を取り込む種は主に鰓、空気中から酸素を取り込む種は主に肺で行うが、成長段階によって鰓呼吸から肺呼吸に変化する種もある。
- D 多くは水圏に生息するが、一部の種は陸圏での生活に適応している。外とう膜に包まれた体を有し、体節はなく、筋肉質のあしが発達する。外とう膜から石灰質を分泌し、体を保護するための硬い殻に覆われる種もある。また、外側に硬い殻を有さない種の一部は、高い遊泳能力を有し、海域を広く回遊する種もある。
- E 外部形態は放射相称を基本とする体制で、結合組織と筋肉層からなる体壁には、炭酸カルシウムなどの鉱物塩の結晶から成る骨片が含まれる。このため、体全体が硬く、ゆっくりと運動する種が多い。水管系と呼ばれる独特の構造によって、呼吸、循環を行うほか、水管系と繋がった多数の管足が移動や摂餌などの運動にかかわっている。

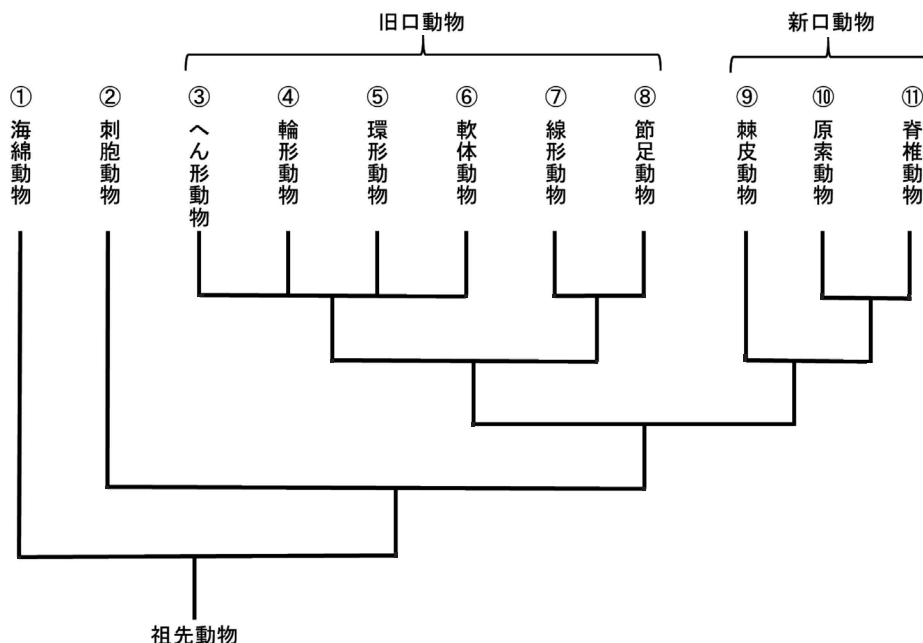


図1 動物の系統

問1 A～Eの説明文に該当する動物群について図1の①～⑪より番号で選びなさい。

問2 A～Eの説明文の動物群に該当する生物を以下の(ア)～(ソ)より2つずつ選び、記号で答えなさい。

- |           |             |               |
|-----------|-------------|---------------|
| (ア) ミズクラゲ | (イ) ミヤマクワガタ | (ウ) マヒトデ      |
| (エ) サナダムシ | (オ) ミミズ     | (カ) マナマコ      |
| (キ) ミジンコ  | (ク) ニホンザル   | (ケ) プラナリア     |
| (コ) カイチュウ | (サ) クロアワビ   | (シ) シオミズツボウムシ |
| (ス) マイワシ  | (セ) マダコ     | (ソ) ナメクジウオ    |

問3 図1の③～⑧の動物群を旧口動物、⑨～⑪の動物群を新口動物という。旧口動物と新口動物の発生上の重要な違いについて50字以内で説明しなさい。

# 生物

## 第3問 次の文を読み、以下の問いに答えなさい。

生物体内において、代謝は精密に制御されている。例えば、ある代謝産物が過剰に蓄積し、それ以上の代謝が生物の生存戦略上阻害的に働く可能性がある場合、その代謝を阻害する制御機構が働き、代謝産物の生産を抑制する。また、代謝の多くは複数の酵素群による連鎖反応的な酵素反応であることから、代謝制御はその代謝に関わる一つまたは少数の酵素反応に作用することが多い。上記の例の場合、過剰に蓄積された代謝産物（最終生成物）が、その生成成過程に関わる酵素群の中の一つの酵素の活性を阻害したことになる。

さて、植物⑦におけるある代謝経路を図1に示す。化学物質Aを最初の基質として、B、C、D、E、F、G、H（すべて化学物質）は、各々が別の酵素反応（酵素a～g）により生成する。それを踏まえて、以下の問いに答えなさい。

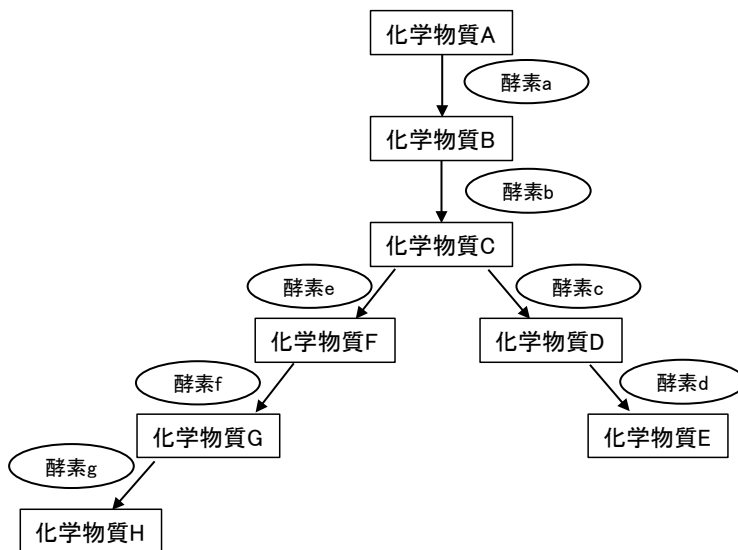


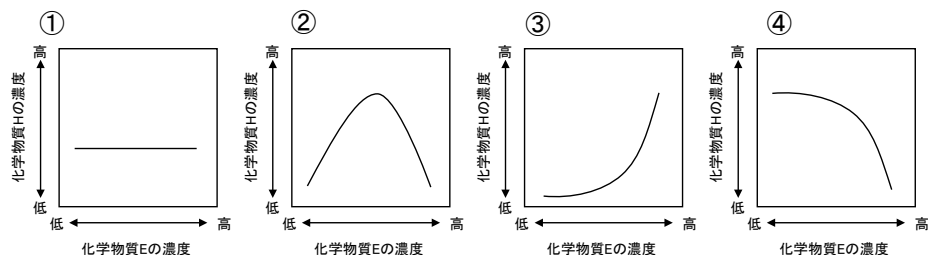
図1 植物⑦における化学物質A～Hまでの代謝経路と各反応を触媒する酵素a～g

問1 下線部のような代謝制御を何というか。

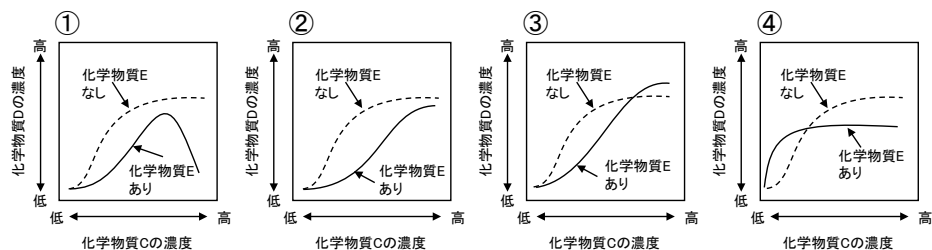
問2 下記の代謝を、異化と同化に分別しなさい。

光合成、呼吸、アルコール発酵、デンプン生産

問3 化学物質Eが細胞内に高濃度に蓄積すると酵素cの活性が阻害されることがわかった。植物㊦の細胞内の化学物質Eの濃度を横軸に、細胞内の化学物質Hの濃度を縦軸にした場合のグラフとして最も適切なものを、下の選択肢①～④から1つ選びなさい。なお、化学物質H自身は、化学物質Hの生合成経路（代謝経路）に影響を及ぼさず、また、生合成された化学物質Hは、実験の時間中に別の物質に変換されることはない（細胞内に蓄積し続ける）と仮定すること。



問4 その後の解析で酵素cはアロステリック酵素であり、化学物質Eは非競争的な阻害物質として働いて、負の調節物質によるアロステリック効果によって酵素cの活性を阻害していることがわかった。横軸に酵素cの基質である化学物質Cの濃度を、縦軸に酵素反応生成物である化学物質Dの濃度をプロットした場合のグラフとして最も適切なものを、下の選択肢①～④から1つ選びなさい。



問5 植物㊦に菌類㊧が感染すると、化学物質Eが植物細胞内に大量に蓄積することが明らかになった。このときに菌類㊧には、化学物質Cから化学物質Dを生成する酵素は存在しなかった。また、菌類㊧はその他の代謝系によって化学物質Dを生成することもできなかった。化学物質Eによる酵素cへの影響に菌類㊧（あるいは菌類㊧が生産する化学物質）が関与することを想定して、菌類㊧の感染により化学物質Eが大量に蓄積した理由を60字以上100字以内で記述しなさい。

## 生物

### 第4問 次の文を読み、以下の問いに答えなさい。

越冬前の (A) クマはできるだけ効率よく脂肪を貯蔵する必要がある。つまり、餌(サケ)の中でも栄養価の高い部分だけを食べて、残りは捨てるのである。特に好んで食べられる部位は、脳みそ、卵巣(イクラ)、背中の筋肉である。ちなみに脳みそは新鮮な個体に限られ、死んで時間が経った個体では残されるようである。一方、内臓、精巣、骨の部分は放棄される傾向にある。

ワシントン大学のクイン博士らの研究グループは、アラスカでクマに捕食された2万個体以上のサケを分析し、産卵前の栄養豊富なサケでも1匹のうち40 - 60%もが食べられずに残され、産卵後の個体では90%以上が残されていたことを明らかにした。捕獲数と廃棄された重量から計算すると、クマ1頭あたり何と1トン以上のサケを食べ残すことがわかった。

もうひとつのクマの重要な習性としては、捕まえたサケを森の中にもって行って、そこで食べる(捨てる)ことである。これは、川の近くで食べるとより強いクマに奪われる可能性があるからである。クマは、周りのクマの密度が高いほど、また、新鮮なサケを捕獲した時ほど、より遠くまで運んで食べる。その結果、大量のサケの食べ残しが森の中に放置されることになる。クイン博士らの研究によると、クマが捕獲したサケの40 - 70%が森に運ばれ、約3分の1が川から5m以上離れたところに運ばれ、中には100m以上運搬されたものもあった。ビクトリア大学のライムヘン博士らの研究でも、多くは川から5m以内のところに遺棄されていたが、50m以上運搬されているものもあった。ちなみに、クマだけでなく河川の氾濫でも多くのサケが陸上に打ち上げられる。

ライムヘン博士らの研究グループは、こうしたサケの食べ残しの河川生態系への影響を、同位体を利用して評価した。自然界には同じ元素でも重さの異なる(中性子の数が違う)安定同位体が存在する。窒素の場合比較的重い $^{15}\text{N}$ が $^{14}\text{N}$ に対して微量存在している。ある試料における $^{15}\text{N}$ と $^{14}\text{N}$ の存在比( $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 比)を $\delta^{15}\text{N}$ で表わすと、海洋では $\delta^{15}\text{N}$ が河川や陸上生態系の $\delta^{15}\text{N}$ と較べて高い(つまり、 $^{15}\text{N}$ の存在比が高い)。サケは生涯の大部分を海洋で生活するため、(B) 体内の窒素の $\delta^{15}\text{N}$ は比較的高い。つまり、河川上流部のサケの産卵場付近で見出される $^{15}\text{N}$ はほぼサケ由来と考えて良い。サケは陸上で不足しがちな窒素やリンを豊富に含んでい



## 生物

る。この安定同位体を用いた方法により、サケによって運ばれた海由来の栄養が草本や樹木、陸上動物にどれだけ貢献しているのかを推定できる。例えば、アラスカキーナイ半島のカナダトウヒは 15.5 – 17.8%が (C) サケ由来の窒素 を利用しており、そのうち 83 – 84% がクマによって運搬されたものと推定された。また、河畔から 500 m 以内の樹木はサケの栄養を受けていたが、それ以上の距離では急に減少した。アラスカ南東部のチチャゴフ島で行われた研究では、4 種の樹木・草本においてサケ由来の栄養が 22 – 24% を占めていることが明らかになった。また、この研究ではシトカトウヒの外皮から芯までを抜き出して (コアサンプリング)、年輪幅から各年の樹木の成長率、それに含まれる  $\delta^{15}\text{N}$  を調べ、両者の間に明瞭な正の相関を見出した。さらに、追加研究でサケの資源量との関係性を調べると、サケの多い年の翌年にはトウヒの成長率が高くなることを示し、200 歳近い樹木のコアサンプルから 1820 年までに遡るサケの資源量を推定した。

サケの遡上は一時的なものであり、樹木がサケを直接食べることがないにもかかわらず、樹木の成長量の 2 割以上もサケが占めていたのは驚くべき結果である。また、サケの栄養が河川から 500 m 離れた地点まで運搬されているのも注目すべきである。サケの死骸は食べた場所に残されるが、サケを大量に食べたクマの糞尿でより遠くまで窒素などの栄養分が運搬されるのである。

出典：小泉逸郎. 2020. 想像を超えたヒグマとサケのつながり – 互いに影響する生態と進化、そして生態系全体へ. 増田隆一編著「ヒグマ学への招待 – 自然と文化で考える」第 3 章 北海道大学出版会 から抜粋・一部改変

問 1 (A) クマ はクマ科クマ属の総称だが、クマ属に含まれる種のうち日本に生息する 2 種とは何か。

問 2 (B) 体内の窒素 は、生物体の中でどのような物質として存在しているか。2 種の物質名を挙げなさい。

問 3 (C) サケ由来の窒素 を利用する場合、植物はイオンの形態で窒素を取り込むが、どのようなイオン形態か。2 種の名称を化学式とともに示しなさい。

## 生物

問4 生態系の物質循環のなかで、サケ及びクマが果たす役割について、運搬、分散、海域、陸域という4つの言葉を用いて100字以内で表現しなさい。

問5 この文章の舞台となる北米大陸の北西海岸～アラスカにかけては、河川上流部にはクマ以外にもサケの恩恵を受けている動物がおり、サケを核とした腐食連鎖及び食物連鎖が成立している。具体的にどのような腐食連鎖・食物連鎖ができると考えられるか、具体的な動物名（種を特定できなければ目・科・属の名称でも良い）を示し、そこで成り立つ生態系の様相を300字以内で表現しなさい。