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。

第１問　次の文章を読み、問いに答えなさい。

光合成を行う植物は、(a) 光エネルギーを利用して水と二酸化炭素から有機物を合成する。光合成は、光エネルギーを化学エネルギーに変換する光化学系の反応過程と、有機物を合成するカルビン･ベンソン回路の大きく２つの過程に分けられる。

光化学系の反応では、(b) 光エネルギーによって葉緑体のチラコイド膜上にある光化学系Ⅰと光化学系Ⅱの反応中心クロロフィルが活性化し、電子を放出しやすい状態になる。光化学系 ① から放出された電子は電子伝達系を経て光化学系 ② に受け渡され、光化学系 ② から放出された電子が$NADP^+$、水素イオンと反応し、還元型の補酵素NADPHができる。また、(c) 光化学系の反応過程では、電子の移動に伴ってATPが合成される。

葉緑体のストロマで進行するカルビン･ベンソン回路は、光化学系の反応で作られたATPとNADPHを使い、二酸化炭素を還元して有機物が合成される反応系である。この反応系は循環しており、まず、(d) 気孔から取り込まれた二酸化炭素が炭素数 ③ の 化合物A と反応し、炭素数 ④ の 化合物B ができる。二酸化炭素と 化合物A の反応はルビスコ（RubisCO）が触媒する。 化合物B はATPによるリン酸化とNADPHによる還元を受けて炭素数 ⑤ のグリセルアルデヒドリン酸になる。グリセルアルデヒドリン酸の６分の１の量は循環経路から外れてグルコースなど有機物の合成に使われ、残り６分の５の量はATPのエネルギーを使って再び 化合物A に戻る。

多くの植物は大気中の二酸化炭素を直接カルビン・ベンソン回路で炭素数 ④ の 化合物B に固定するC_3植物だが、C_4植物では、(e) カルビン・ベンソン回路とは別の代謝経路で二酸化炭素が炭素数 ⑥ のホスホエノールピルビン酸（PEP）と反応し、炭素数 ⑦ の 化合物C が生成される。二酸化炭素とPEPの反応はPEPカルボキシラーゼが触媒する。 化合物C から変換されたリンゴ酸などが放出した二酸化炭素がカルビン・ベンソン回路に送り込まれる。

問１　本文中の ① と ② には、それぞれⅠとⅡのどちらが当てはまるか答えなさい。

問２　本文中の ③ ～ ⑦ に適する**数字**を答えなさい。

問３　本文中の 化合物A ～ 化合物C の略語ではない名称を、**カタカナと漢字**を使って答えなさい。

問４　下線部（a）に関して次の問いに答えなさい。

(1)　光合成によってグルコースが合成されるとき、全体の反応式は以下のようになる。**ア～エ**に適する**数字または化学式**を答えなさい。

［ア］$H_2O + 6$［イ］＋ 光エネルギー → $C_6H_{12}O_6 + 6$［ウ］＋［エ］H_2O

(2)　一定温度のもと、植物Xと植物Yに強さを変えながら光を照射して二酸化炭素の吸収速度を測定し、**図１**の結果を得た。同じ温度条件で、植物Xと植物Yのそれぞれ150cm^{2}の葉に５キロルクスの光を18時間照射した後、暗黒下に６時間置くという実験を行った。実験終了時の乾燥重量の増加量は、植物Xと植物Yのどちらが何mg多かったか答えなさい。ただし、葉で合成された有機物は他の器官には転流せず、また、呼吸による有機物の消費速度は光条件に関わらず一定であるとする。炭素、水素、酸素の原子量をそれぞれ12、1、16とし、四捨五入して**小数第１位まで**計算しなさい。

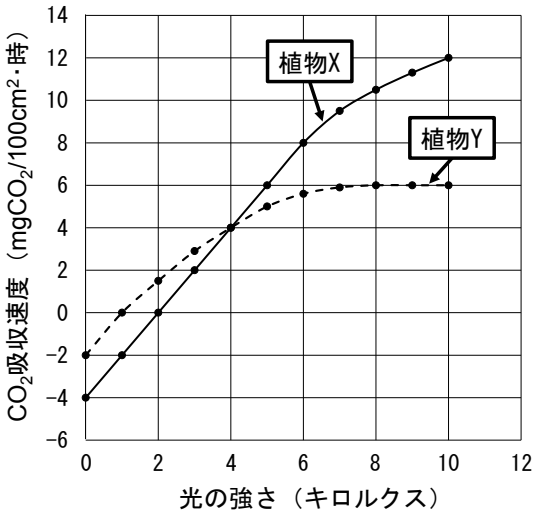


図１

問５　下線部（b）のような状態になり、電子を放出して酸化された光化学系Ⅰと光化学系Ⅱの反応中心クロロフィルは、それぞれどのようにして還元された状態に戻るのか、光化学系Ⅰ、光化学系Ⅱともに30字以内で説明しなさい。

問６　下線部（c）のATP合成の仕組みを、以下の５つの用語をすべて使い、250字以内で説明しなさい。

用語：ATP合成酵素、拡散、電子伝達系、能動輸送、濃度勾配

問７　下線部（d）で取り込まれた二酸化炭素が６分子であった場合、この反応回路で生成される 化合物A と 化合物B 、そしてグリセルアルデヒドリン酸はそれぞれ何分子になるか答えなさい。

問８　十分な光条件と二酸化炭素濃度のもとで光合成を行っている植物では、カルビン・ベンソン回路の反応系が進行し、本文中の 化合物A と 化合物B が中間産物として生成され、下の図２のように一定量を保っている。

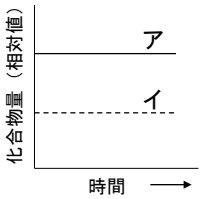
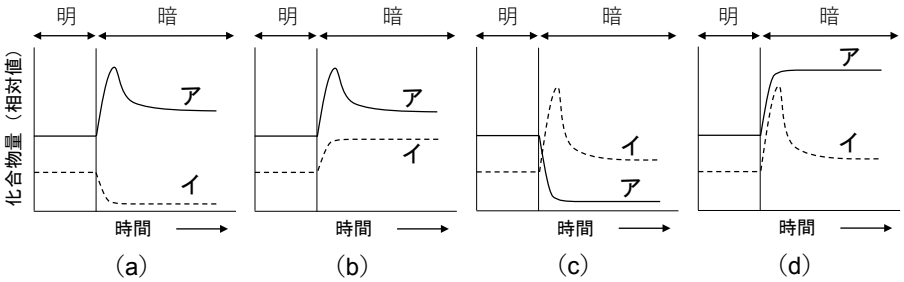


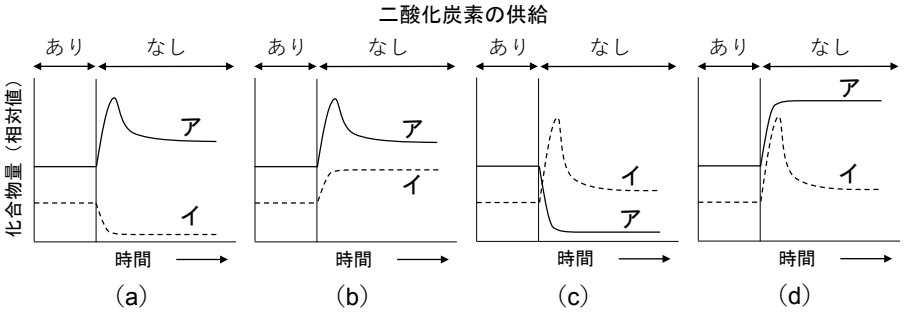
図２

(1)　図２のア、イはそれぞれ 化合物A 、 化合物B のどちらなのか答えなさい。

(2)　図２の状態で光合成を行っている植物を、二酸化炭素濃度は変えずに光を遮断したとき、 化合物A と 化合物B は経時的にどのような量的変化を示すと考えられるか、下の（a）～（d）から選びなさい。また、そのような量的変化が起こる理由を150字以内で説明しなさい。



(3) 図２の状態で光合成を行っている植物を、光条件は変えずに二酸化炭素の供給を停止したとき、 化合物A と 化合物B は経時的にどのような量的変化を示すと考えられるか、下の（a）～（d）から選びなさい。また、そのような量的変化が起こる理由を150字以内で説明しなさい。



問９　下線部（e）に関して次の問いに答えなさい。

(1) サトウキビ、サボテン、シロイヌナズナ、ススキ、セイヨウタンポポ、トウモロコシ、ベンケイソウのうち、C_4植物を３つ選びなさい。

(2) ルビスコは、カルボキシラーゼとして働く場合と、オキシゲナーゼとして働く場合がある。C_3植物では気孔開度が低下して葉の二酸化炭素濃度が低下すると、ルビスコが本文中の 化合物A に、二酸化炭素ではなく、酸素を結合させる傾向を強めるため、光合成速度が低下する。一方、C_4植物では気孔開度が低下しても光合成速度は低下しない。C_4植物で光合成速度が低下しない理由を、葉肉細胞、維管束鞘細胞、ルビスコ、PEPカルボキシラーゼ、二酸化炭素親和性という用語を使って250字以内で説明しなさい。

第２問　次の文章を読み、問いに答えなさい。

グルタミン合成酵素（GS）は１つのアンモニウムイオン（NH_4^+）と１つのグルタミン酸（Glu）の結合を触媒し、１分子のグルタミン（Gln）を生成する。生成したGlnはグルタミン酸合成酵素（GOGAT）の存在下で、α-ケトグルタル酸に１つのアミノ基を転移し、グルタミン酸を生成する。この一連の反応をまとめて、GS/GOGAT経路と呼ぶ。その後はアミノ基転移酵素群の触媒により、様々な有機物（炭素骨格）にアミノ基が付加され、植物プランクトンの増殖や代謝に必要なタンパク質や核酸、クロロフィルなどが生合成されることになる。

さて、ある植物プランクトンAは、周囲の水からアンモニウムイオン（NH_4^+）や硝酸イオン（NO_3^-）を取り込み、NO_3^-をNH_4^+まで還元した後、必要なタンパク質合成に用いている。この代謝を「無機窒素同化」という。その際に機能するGS/GOGAT経路の反応速度を、温度を変化させて調べたところ、図１のような結果を得た。

次に、この植物プランクトンAからグルタミン合成酵素（GS）を単離・精製したところ、GS活性を示す２種のタンパク質を得ることができ、それぞれをGS1およびGS2と便宜的に命名した。一方、グルタミン酸合成酵素（GOGAT）は１種のタンパク質しか単離・精製されなかった。そこで、充分量の精製GOGATの存在下で、GS1とGS2それぞれの異なる温度におけるグルタミン酸生成（GS/GOGAT）活性の変化を調べたところ、図２の結果を得た。

続いて、異なるアンモニウムイオン（NH_4^+）濃度下におけるGS1とGS2のGS活性の変化を調べたところ図３のようになった。このことから研究者は、植物プランクトンAは、水温の低い冬季には、(1)基質親和性の（高い・低い）GS1を主に用いて無機窒素を同化しており、水温の高い夏季には主に(2)最大反応速度の（高い・低い）GS2を主に用いて同化しているのではないかと推測した。

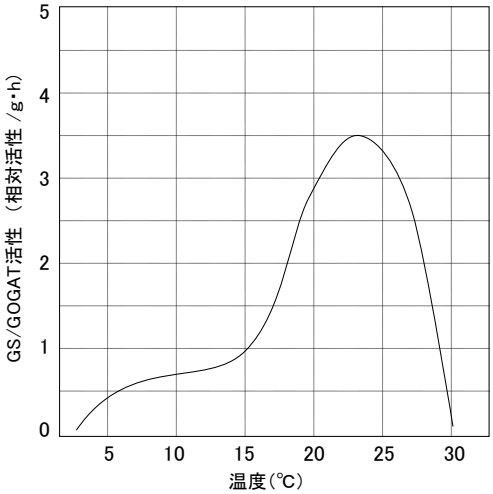


図１　異なる温度における植物プランクトンAのGS/GOGAT活性の変化．タンパク質1g当たり、１時間当たりのグルタミン酸（Glu）生成量の相対活性（15℃の時のグルタミン酸生成量を１とする。）で示す。反応基質としてアンモニウムイオン1mMとグルタミン酸1mMを添加している。

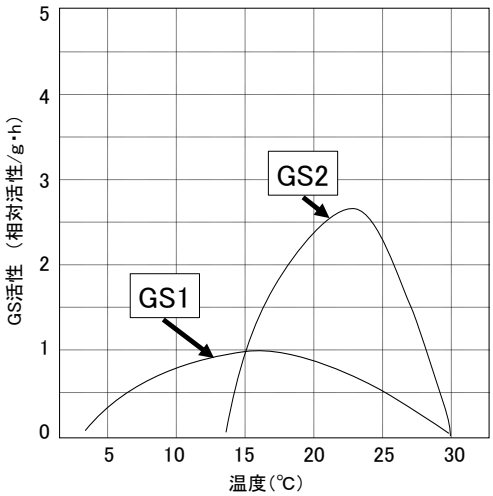


図２　異なる温度における、植物プランクトンAから精製した２種のタンパク質（GS1とGS2）1g当たり、１時間当たりのGS活性の変化．活性は精製したグルタミン酸合成酵素（GOGAT）を充分量加えて、図１と同じ条件で反応させ、それぞれ、15℃で生成したグルタミン酸量を１とした相対活性で示す。

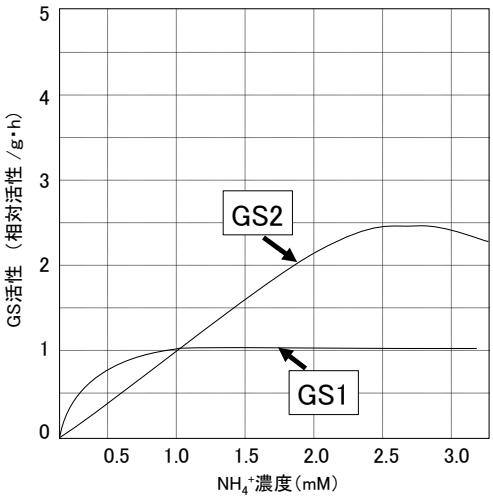


図３　異なるアンモニウムイオン（NH_4^+）濃度下におけるGS1とGS2のタンパク質1g当たり、１時間当たりのGS活性．活性は精製したグルタミン酸合成酵素（GOGAT）を充分量加えて、1.0mMのグルタミン酸と様々な濃度のNH_4^+を15℃で反応させ、生成したグルタミン酸量を、それぞれ1.0mMのNH_4^+の時のグルタミン酸生成量を１とした相対活性で示す。

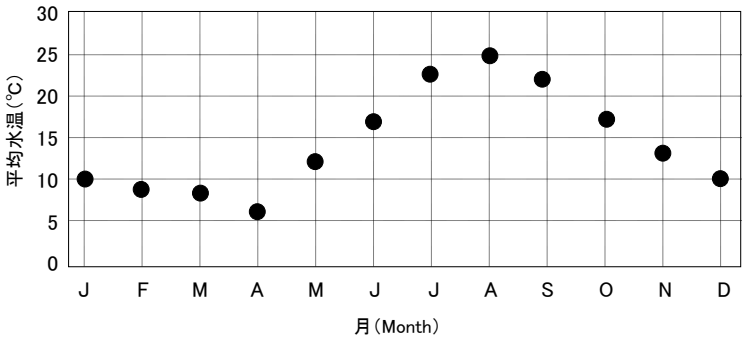


図４　ある湖沼における月別の平均水温

問１　GS/GOGAT経路により、１つのアンモニウムイオン（NH_4^+）をもとに何分子のグルタミン酸が生成されるか、答えなさい。

問２　下線部（1）および（2）のカッコ内の語句からふさわしいものを選びなさい。

問３　図３において、アンモニウムイオン（NH_4^+）濃度が1.0mMの時にGS1では0.4mmolのグルタミン酸が生成し、GS2では0.2mmolのグルタミン酸が生成した。それでは水温が15℃で、アンモニウムイオン（NH_4^+）濃度が2.0mMの時、GS1およびGS2によって、それぞれ何mmolのグルタミン酸が生成するか。計算式も併せて書きなさい。

問４　本文と図１～３から考察した下記の文章それぞれにつき、正しいものには○、間違っているものには×をつけなさい。

(1)　別の実験からGS1の分子量は30,000、GS2の分子量は50,000であることが判明した。しかし、図２の縦軸の単位を相対活性/mol・hにしてもグラフの形状は変わらない。

(2)　この植物プランクトンAのGOGAT活性が、アンモニウムイオン（NH_4^+）の同化活性の律速要因ではないと仮定した場合、植物プランクトンAによるNH_4^+の同化はGS活性を持つ２種の酵素に支配される。

(3)　水温が20℃でNH_4^+濃度が1.0mMの時、1molのGS2によって生成されるグルタミンの量は1molのGS1によって生成されるそれのおよそ３倍である。

問５　もともと植物プランクトンAが周年生息するある湖沼の周囲に養鶏場が設立され、鶏糞などの排出物から高濃度のアンモニウムイオン（NH_4^+）が、周年、湖沼に流入するようになった。その結果、冬季には別の植物プランクトンBが優占し、植物プランクトンAは冬季には見られなくなった。この湖沼の平均水温が図４であるとすると、このような植物プランクトン種組成の変化をどのように説明できるであろうか。無機窒素同化の側面から500字以内で説明しなさい。説明には、植物プランクトンBの無機窒素同化の特徴も推定して記述しなさい。なお、水中の窒素源はNH_4^+とNO_3^-が考えられるが、NO_3^-からNH_4^+への還元活性は、植物プランクトンの生存戦略上、無視して考えること。

第３問　次の文章を読み、問いに答えなさい。

1872年に設置されたアメリカのイエローストーン国立公園（面積約9000㎢～鳥取県の2.5倍強）では1926年を最後にオオカミ（ハイイロオオカミ）が確認されることがなくなった（この頃に絶滅したとみられる）。オオカミが不在となった結果、数を増やしたエルク（アメリカアカシカ）による採食圧が上昇して地域の植物相をはじめ生態系全体が大きな影響を受けた。その後、1995年にオオカミの再導入プロジェクトによりカナダで捕獲された14頭のハイイロオオカミが導入されることとなり、翌1996年にはさらに17頭のハイイロオオカミが公園内に放たれることとなった。オオカミはこの2年間に導入された計31頭以外には外部からの導入は無く、今日まで公園内で自然繁殖することで個体群を維持している。2017年現在、97頭（11の群れ）が公園内で確認されている。また、オオカミの導入に伴って公園全体の生態系に様々な変化がみられるようになってきている。

以下の文章はこうした過程の一部を描写したもので、National Park Trips誌でイエローストーン国立公園編を編集したB. Farquhar氏が著した記事（2019年１月付）を意訳したものである。

＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊

静かな春の朝、イエローストーン国立公園を流れる河川には「バシッ、バシッ」というけたたましい音が響く。(A)齧歯目（げっし）のビーバーが靴ベラを大きくしたような尻尾を使って水面を叩き仲間に危険を知らせる警戒音である。カナダからオオカミを再導入する以前にはほとんど聞くことが無い音だったが、最近は日常的に聞く機会が増えた。

イエローストーンのオオカミプロジェクトの責任者であり野生生物学者のダグ・スミス氏によれば、オオカミを導入した当時、ビーバーは公園内にほとんど見られなかったが、現在では９つのコロニーが確認されており、その数は増加しつつあるという。スミス氏は言う。

「ビーバーの増加は、オオカミ再導入に伴う生態系の変化の１つだね。ビーバーの主要な食糧は河川沿いのヤナギの木（木質部）だが、エルクがヤナギの新芽

を集中的に摂食してしまってヤナギ林が衰退し、ビーバーが生存できない状況になっていた。オオカミが来てエルクが分散したことでヤナギ林が健全に成長できるようになったんだ。ヤナギの木はビーバーにとっては最高の食糧だし、ダム湖建設のための良い建築資材になるのさ。」

エルクはイエローストーン公園内外に生息し、冬場には4,000頭強が、夏場には１万～２万頭が公園内に生息しているとみられる。スミス氏によれば、1970年頃にはエルクの生息数は今日の３分の１程度だったが、川沿いのヤナギの木の状態は非常に悪かった。今日ではエルクが増えたにも関わらずヤナギの生育が良好であるという。

その理由についてエルクの行動様式の変化から研究を進めたモンタナ州立大学の生態学の教授であるスコット・クリール氏は次のように述べている。

「私はイエローストーンのガラティン渓谷でエルクの行動を研究しています。エルクはオオカミが近くにやってくると、太い木が多く森林蓄積量の高い森林に移動し、オオカミが離れると開けた草原や疎林に出てくるといった行動を繰り返します。そして驚いたことに、オオカミが近くに来ると、エルクの群れの規模は小さくなることが分かりました。当初の予想ではむしろオオカミからの防御能力を高めるために群れの規模が大きくなると考えていましたが逆の結果になりました。おそらくエルクはオオカミと遭遇することを避けようとして規模を小さくしていると思われます。また、オオカミが近くにいれば警戒して摂食行動が少なくなることも分かっています。こうしたことによる食性の変化がエルク個体群自体に与える研究を進めているところです。」

こうした点はスミス氏も指摘して次のように述べている。

「捕食者のオオカミがいることでエルクが常に動き回るようになったのさ。そのため川沿いのヤナギの新芽を集中的に食べることがなくなった。政府の地質調査局でもこの件で調査を行っている。ビーバーの食害を模して木や枝を切断したヤナギ林は良好に成長するが、そこにエルクによる新芽の集中的な摂食が加わるとヤナギ林は途端に衰弱してしまう。３年間の検証結果、新芽が摂食された林に比べ、新芽の摂食の無い林ではヤナギの林のバイオマス量はほぼ10倍に

なった。また、摂食の無いヤナギの木は、２年後にその個体のバイオマス量の84％を回復させたのに対し、摂食のあったヤナギの木は６％しか回復しなかった。エルクがオオカミを避けて冬場に動き回るようになり、集中的な新芽の摂食を受けていたヤナギ林が回復し、ビーバーも再び十分な食糧源を確保することができるようになったということさ。」

ヤナギ林が回復し、ビーバーにとって良好な環境ができると(B)カスケード効果が作用し始める。ビーバーのコロニーが増えて生息範囲が拡大してビーバーが作る新しいダム湖（池）が次々と川沿いに作られる。木や石、苔などを巧みに使って堰き止められたそれぞれのダム湖には多くの水が湛えられて地域の水環境を大きく変化させるようになる。再びスミス氏は言う。

「ビーバーが作ったダム湖が流域の水の移動様式を様々に変化させたのさ。例えば、春先の雪解けは、以前は短期間に大量の水を発生させて地面をえぐり取っていた。それが多くのダム湖（池）ができたことによって雪解け水が池に蓄えられて出水を長期に均一にすることができるようになった。池の周辺は湿地が広範にできて水辺を好む多くの動植物に良好な環境を提供したというわけだ。さらに、地面の下の地下水にも十分な水が供給されるようになり、河川の各所で冷たい地下水が泉となって溢れ出るようになり、魚に良好な冷たい水を常時供給できるようになった。そして、魚を餌にする猛禽（もうきん）類をはじめとした肉食の小動物にも良い環境が生まれた。もちろん、健全に育つヤナギの林は多くの虫や小鳥たちにとって格好の棲み処になっているよ。」

一方、オオカミの捕食による(C)エルクの死肉が地域の生態系を豊かなものに変えている点も指摘しておかなければならない。かつてはエルクの主要な死亡要因が厳冬（多雪）であったものが、近年の暖冬傾向の中で、オオカミがエルクの死亡率に関わる主要な要因になっていると指摘されている。さらに、カリフォルニア州立大学バークレー校の研究グループは、少量の雪とオオカミ生息数の増加という組み合わせが、オオカミ以外の肉食獣～大きなグリズリーベアーから小さなワタリガラスに至るまで～に恩恵を与えていると断定している。そして次のように述べている。

「エルクの死肉の利用可能量は、かつては積雪量が多い冬に増加していました。

しかし、オオカミ導入の頃から積雪量が少なくなり、雪に起因するよりもオオカミの捕食に伴うエルクの死亡率が上がってきました。換言すると、かつてエルクの死肉は厳冬期の短期間に集中的に発生していましたが、オオカミの捕食から出る死肉は冬から春にかけて長期間に均等に供給されるようになりました。そのため、より多くの動物が広くエルクの死肉にありつけるようになりました。事実、その恩恵はワタリガラス、ワシ、マグピー、コヨーテ、クロクマ、グリズリーベアーにまで広範に及んでいます。特にクマにとっては冬眠から覚めて飢餓状態のときに死肉にありつけるために大きな恵みとなっています。」

こうした状況を、アメリカ野生生物局でオオカミの個体群回復を担当しているエド・バングス氏は次のように述べている。

「私はエルクの死肉を、多くの動物にとっての『ごちそう』と呼んでいます。本当に驚いたことは、オオカミの狩りによって出た死肉が起点となって、非常に大きな生命の網の目を介して様々なものとリンクしているという事実です。様々な甲虫類、クズリ、オオヤマネコ、その他多くの生物に関連しています。先住民の伝説の中にオオカミを追うワタリガラスの伝説がありますが、まさに伝説は真実であって、オオカミは食物を生んでくれる食糧の供給者なのです。」

問１　日本に生息する日本固有の哺乳類で、下線部(A)齧歯目に含まれるのはどんな動物種か。以下から４種の動物を選択しなさい。

ホンドテン、ムササビ、ヌートリア、アカゲザル、ニホンイタチ、ニホンモモンガ、ハクビシン、ヒメネズミ、キクガシラコウモリ、ハツカネズミ、ヤマネ、ヒミズ、ニホンジカ、シマリス、

問２　カスケード効果とは、ある現象が次々と広く他に影響を及ぼすことを指す言葉で、例えば、生態系内のある栄養段階で起きた事象が他の栄養段階へと次々と影響を及ぼすような状況を指す。イエローストーン国立公園においてビーバーが引き起こした下線部(B)カスケード効果を100字程度で簡潔にまとめよ。

問３　生態系の中で下線部(C)エルクの死肉など動物の遺骸を起点とする食物網のことを何と呼ぶか。

問４　イエローストーン国立公園での生態系の変化には、オオカミとビーバーという２つのキーストーン種が関わっている。このキーストーン種とはどう定義されるか。また、ヤナギがキーストーン種とならない理由は何か。計100字程度で述べよ。

問５　日本ではシカやイノシシが増加し、農産物等への被害が大きいことや森林植生の劣化が進行している現状がある。こうした状況に対し、日本においてもオオカミの再導入を望む声がある。日本へのオオカミ導入についてあなたはどう考えるか、賛否を明らかにした上でその理由を400字以内で記述しなさい。