

理 科

〈監督者の指示があるまで開いてはいけない〉

1. 出願時に選択した2科目について、解答を別紙の解答用紙に記入しなさい。
2. 選択していない科目の解答用紙は問題配布後に回収します。
3. 試験開始後、まず解答用紙に自分の受験番号と氏名を正しく記入しなさい。
4. 試験開始後、速やかに問題冊子に落丁や乱丁がないか確認しなさい。
落丁や乱丁があった場合は、手を挙げなさい。
5. 下書きや計算は問題冊子の余白を利用しなさい。
6. 記入中でない解答用紙は必ず裏返しにしておきなさい。
7. 問題冊子は試験終了後、持ち帰ってもよい。
ただし、試験途中では持ち出してはいけない。

問 題 目 次

物 理	1	～	8	ページ
化 学	10	～	18	ページ
生 物	19	～	30	ページ

生 物

1. 視覚器に関連する各問いに答えよ。

I 脊椎動物の眼において、光は透明な角膜と水晶体で集光され、最終的に網膜に像を結ぶ。これらの組織の配置に異常が生じると、眼の機能が損なわれる。

発生過程において、一群の細胞が、隣接する別の細胞群に働きかけ、異なる細胞や構造を新たに生じさせる現象を誘導とよぶ。眼の発生においても誘導が重要な役割を担う。眼の組織は外胚葉が段階的に分化することで形成されるが、その初期において、組織Aは外胚葉に作用し、神経管を誘導する(図1の破線)。

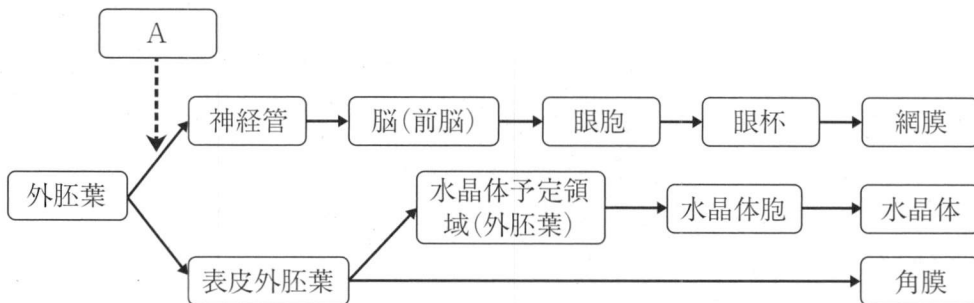


図1

問 1. 図1の組織Aの名称を解答欄Ⅰに、その組織から分化する組織の名称を解答欄Ⅱにそれぞれ答えよ。

問 2. 眼の発生には、図1に記載されていない誘導が複数存在する。それらの中から2つの誘導現象を任意に選び、解答欄Ⅰ～Ⅲに「Ⅰ：誘導する組織」、「Ⅱ：誘導を受ける組織」、「Ⅲ：誘導の結果生じる組織」の各名称を答えよ。

問 3. イモリ胚において「組織aが組織bに作用することで、組織bから組織cが誘導される」ことを証明したい。どのような実験を計画すればよいか、できるだけ具体的に述べよ。

Ⅱ 網膜には2種類の視細胞が存在し、一方は色の識別に関係する 細胞、もう一方は明暗に反応するが色の識別に関与しない 細胞である。 細胞には とよばれる視物質が存在する。 は、タンパク質である に、 から合成される が結合した複合体であり、食事からの の摂取量が不足すると暗順応が障害される。

問 4. ア～カの に入る適切な語句を答えよ。

問 5. 明順応よりも暗順応の方が時間がかかる。その理由を述べよ。

問 6. ヒトの左眼の網膜上に「明暗に反応するが色の識別に関与しない 細胞」はどのように分布しているか。図2に対応した解答欄の横軸上に盲斑および黄斑の位置を記入した上で、網膜上の位置とこの細胞の細胞数との関係を表すグラフを描け。ただし、 α は視軸の中心からの角度(α°)であり、黄斑と盲点は $0 \sim \alpha^\circ$ の範囲内にあるものとする。グラフの最大値を $15(\times 10^4 \text{ 個/mm}^2)$ 程度にすること。

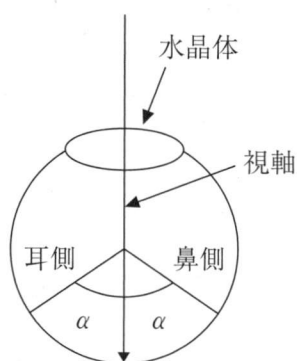


図2 左眼の眼球中心・盲斑・黄斑を通る横断面

2. 哺乳類の脂肪量の調節機構に関する各問いに答えよ。

哺乳類は食べ物からエネルギーを摂取し、生命活動により消費する。エネルギーの摂取量が消費量を上回ると、余剰のエネルギーはおもに脂肪として貯蔵される。炭水化物やタンパク質からもエネルギーを取り出すことができるが、^①脂肪は炭水化物やタンパク質と比べて同じ質量から得られるエネルギー量が大きいという利点がある。^②しかし、過度な脂肪の貯蔵は肥満につながるため、脂肪量を調節する機構が存在する。レプチンは脂肪細胞でつくられて血中に分泌され、間脳の視床下部に存在するレプチン受容体に作用し、摂食抑制やエネルギーの消費を促進させるはたらきをもつ。^③脂肪が増加して脂肪組織が大きくなるとレプチンが多量に分泌され、視床下部を介した指令により脂肪の増加が抑えられ、レプチンの分泌量も減少していく。

遺伝的にレプチンまたはレプチン受容体が正しく機能せず、そのために過食が続いて肥満になるマウスがいる。この表現型は、レプチンまたはレプチン受容体の遺伝子における1塩基の置換が原因であり、変異遺伝子のホモ接合によって過食が起こり肥満に至る。ただし、各遺伝子に対する1塩基置換の影響は異なる。変異レプチン遺伝子の場合、1塩基置換によってアルギニンを指定するコドン(CGA)が終止コドン(TGA)に変わり、翻訳が途中で終了するため、構造の異常によってレプチンとしてはたらかない(図1)。

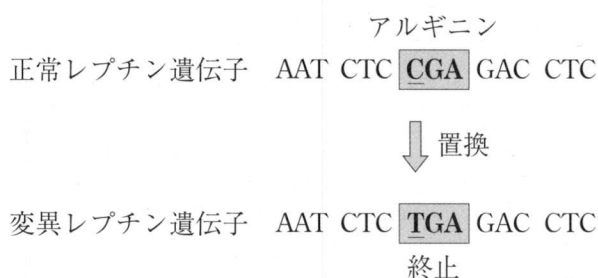


図1

一方、レプチン受容体遺伝子の塩基置換はイントロン内で起きている。マウスの正常なレプチン受容体遺伝子(正常受容体遺伝子)は19個のエキソンで構成され、mRNA上の開始コドンAUGのAから数えてエキソン18の最後のGが2667番目、エキソン19に存在する終止コドンUAAの最後のAが3489番目の塩基になる(図2A)。肥満の原因となるレプチン受容体遺伝子(変異受容体遺伝子)で置換されている塩基はエキソン18と19にはさまれたイントロン内に存在する(図2Bの▼の位置)。その結果、新たな領域がエキソンとして加わりmRNAが106塩基長くなる(図2B)。しかし、^④このmRNAから合成される変異受容体のタンパク質の長さは正常受容体と比べて短くなり、正常受容体が1162個のアミノ酸からなるのに対し、変異受容体は894個のアミノ酸からなる。両者のアミノ酸配列を比較するとN末端から数えて889番目までは一致するが、それに続く配列が異なっている。

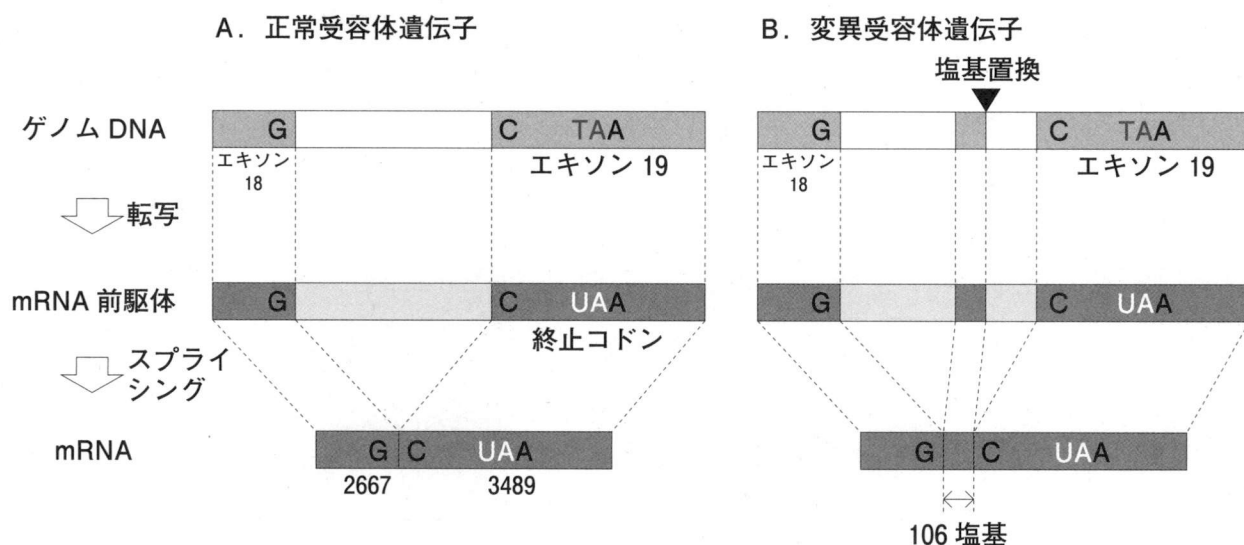


図 2

実験 1. マウスのレプチン遺伝子のある領域を PCR 法で増幅できるようにプライマーを作製した。このプライマーで増幅される DNA 断片の長さは 200 塩基対で、図 1 で示した変異レプチン遺伝子で置換される塩基は、増幅される遺伝子配列のセンス鎖側の 5'末端から数えて 165 番目に存在する。このプライマーを用いて正常レプチン遺伝子に対して PCR を行い、増幅された DNA 断片の試料を 2 つに分け、一方を *Dde* I という制限酵素で処理した。*Dde* I は CTNAG (N は ATGC のどの塩基でもよい) という塩基配列を認識して、C と T の間で DNA を切断する。制限酵素非処理の試料と *Dde* I で十分に処理した試料をアガロースゲル電気泳動で分析した。

結果 1. レーン b において、約 60 塩基対と約 140 塩基対の長さの DNA 断片が検出された(図 3)。これは、PCR で増幅される正常レプチン遺伝子配列のセンス鎖側の 5'末端から数えて 59 ~ 63 番目に *Dde* I が認識する配列が存在するためである。

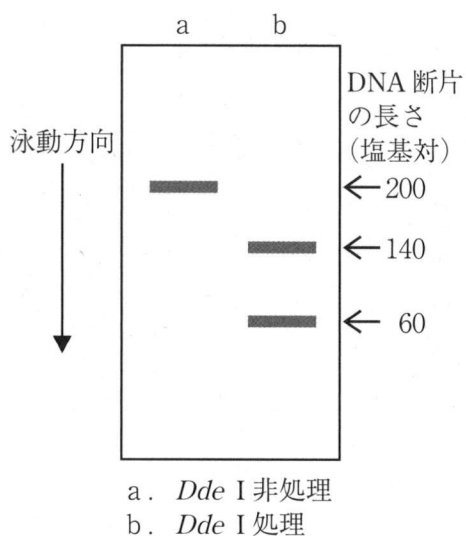


図 3

実験 2. 肥満マウス A と肥満マウス B は変異レプチン遺伝子または変異受容体遺伝子をホモ接合でもち、肥満マウス A と肥満マウス B のもつ変異遺伝子は異なる。この肥満マウスと正常遺伝子をホモ接合でもつマウス(正常マウス)の間で互いの血管を外科的な手術でつなぎ、それぞれの血液が双方に流れるようにした(併体結合)。その後、十分なエサを与えながら飼育を続け、マウスの状態を観察した。

結果 2-1. 肥満マウス A と正常マウスの間で併体結合を行うと、肥満マウス A は過食を続けたが、正常マウスの摂食量は激減した。

結果 2-2. 肥満マウス B と正常マウスの間で併体結合を行うと、肥満マウス B の摂食量は減ったが、正常マウスの摂食量に大きな変化はなかった。

問 1. 下線部①に関して、タンパク質を呼吸基質に利用する際の分解反応で有害物質が生じる。ヒトではこの有害物質はある器官で毒性の弱い物質に代謝される。有害物質の名称を解答欄 I に、弱毒化する器官の名称を解答欄 II に、そこで生成されてくる毒性の弱い物質の名称を解答欄 III にそれぞれ答えよ。

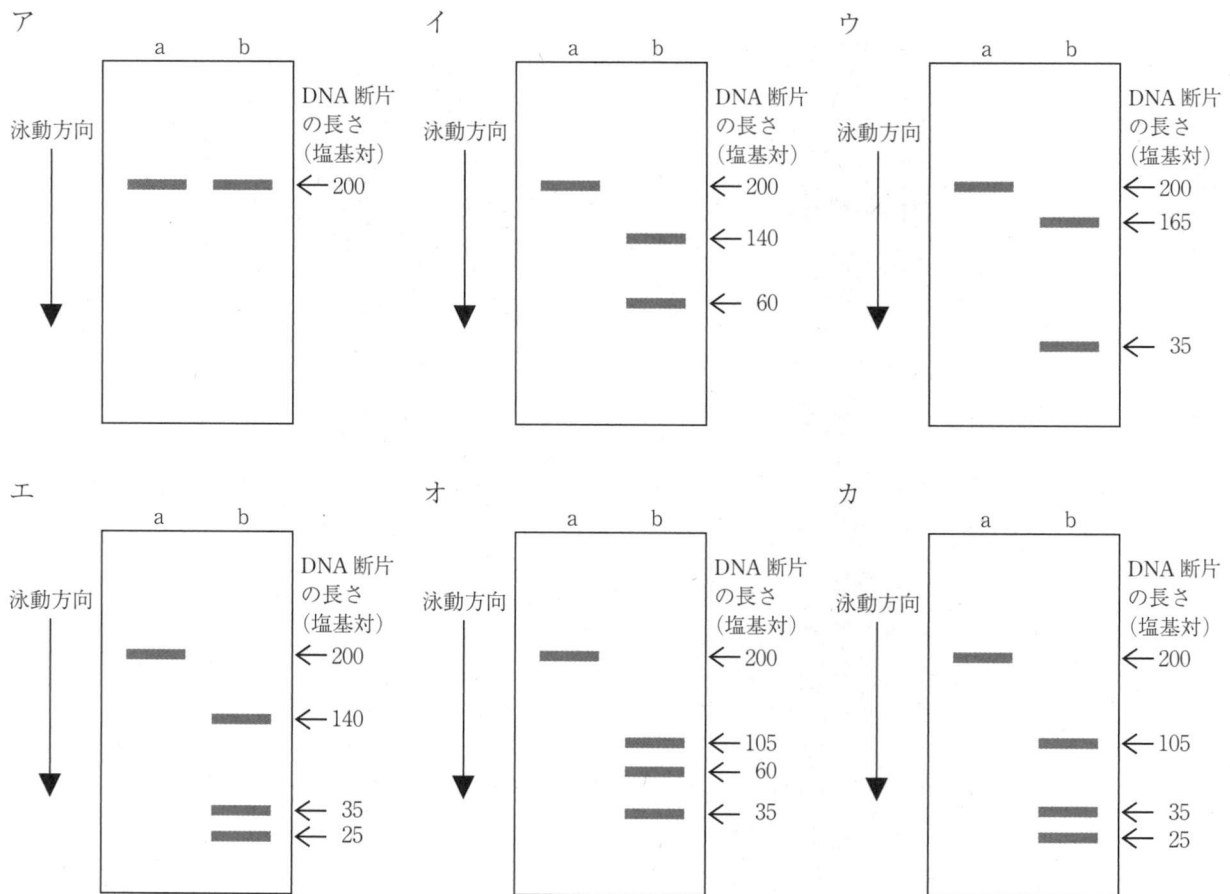
問 2. 下線部②に関して、脂肪が呼吸基質として分解される主要な反応とその際のエネルギーの収支は以下の通りである。脂肪はまずグリセリンと脂肪酸に分解され、脂肪酸はコエンザイム A (CoA) と結合する。その際に 1 分子の脂肪酸あたり 2 分子の ATP が消費される。CoA と結合した脂肪酸は β 酸化とよばれる酵素反応によって炭素 2 個分が順次分解されてアセチル CoA が産生され、このアセチル CoA はクエン酸回路に入る。 β 酸化では 1 回あたり 1 分子の NADH と 1 分子の FADH_2 が得られ、クエン酸回路では 1 分子のアセチル CoA から 3 分子の NADH と 1 分子の FADH_2 と 1 分子の ATP が得られる。NADH と FADH_2 は電子伝達系に送られ、1 分子の NADH から最大で 3 分子の、1 分子の FADH_2 から最大で 2 分子の ATP が合成される。脂肪酸であるステアリン酸($\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$)の分解では β 酸化の繰り返して 9 分子のアセチル CoA が得られる。呼吸によってステアリン酸が完全に分解されるときに得られる質量あたりのエネルギー量は、グルコースのその何倍になるか答えよ。なお、ここでは最大量の ATP が得られるものとする。原子量は $\text{C} = 12$, $\text{H} = 1$, $\text{O} = 16$, 答えは小数点以下第 2 位を四捨五入すること。

問 3. 下線部③のような調節機構を何とよぶか、名称を答えよ。

問 4. 体液の塩分濃度の調節も下線部③のような調節機構をもつ。これに関する次の文のア～エに入る適切な語句を答えよ。

体液の塩分濃度の上昇が ア で感知されると脳下垂体後葉から イ の分泌が促され、腎臓の ウ の上皮細胞にはたらいて水の エ を促進する。

問 5. 実験 1 と同じプライマーを用いて肥満マウスの変異レプチン遺伝子に対して PCR を行い、増幅した DNA 断片について、*Dde* I で処理しないもの(レーン a)と *Dde* I で処理したもの(レーン b)をアガロースゲル電気泳動で確認した。得られる結果として正しいものを以下より選び記号で答えよ。なお、*Dde* I の切断効率 は 100 % とし、DNA 断片の長さで 1 ~ 3 塩基対程度の誤差は許容する。



a. *Dde* I 非処理 b. *Dde* I 処理

問 6. 下線部④のようになる理由を考察し、次の「 」内の語句をすべて用いて説明せよ。「5 アミノ酸, 106 塩基, 終止コドン」

問 7. 結果 2 - 1 で正常マウスの摂食量が激減した理由をレプチンによる調節機構から考察せよ。

問 8. 実験 2 の肥満マウス A と肥満マウス B の間で併体結合を行った場合、レプチンによる調節機構から肥満マウス A と肥満マウス B は結合手術後にどのようなと考えられるか。以下のア〜エより適切なものを選び、記号で答えよ。

- ア. 肥満マウス A も肥満マウス B も過食を続ける。
- イ. 肥満マウス A は過食を続け、肥満マウス B は摂食量が激減する。
- ウ. 肥満マウス A は摂食量が激減し、肥満マウス B は過食を続ける。
- エ. 肥満マウス A も肥満マウス B も摂食量が激減する。

3. 菌類を利用した研究に関する各問いに答えよ。

菌類は生物学の研究材料として有用であり、その代表がアカパンカビと出芽酵母(パン酵母)である。両者の細胞には、無性的に増殖可能な2種類の接合型をもつ1倍体のもの(アカパンカビはA型とa型、出芽酵母はa型と α 型)とそれらが接合した2倍体の接合子がある(図1, 2)。アカパンカビの接合子をつくられると直ちに減数分裂を開始し、最終的に1個の接合子から8個の子^{のう}嚢胞子が形成される。一方、出芽酵母の接合子は栄養状態が悪くならない限り、体細胞分裂(出芽)によって増え続ける。^①また、出芽酵母の無性生殖の過程では、接合型変換とよばれる現象によって自発的にa型と α 型の両細胞が生じる。

アカパンカビおよび出芽酵母の野生型の系統(野生株)の細胞は、無機化合物を窒素源とした最少培地で増殖することができる。こうした細胞にX線を照射すると突然変異によって、特定のアミノ酸を培地に加えないと増殖できない栄養要求性の変異型細胞が得られる。1940年代、ビードルとテータムはこの手法を用いてアカパンカビから、タンパク合成に必要なアミノ酸であるアルギニンを最少培地に加えないと増殖できないアルギニン要求性の株を複数分離した。^②また、これら変異株の関係や性質を分析することでN-アセチルオルニチンからアルギニンに至る4段階の各酵素反応を直接制御する遺伝子E~Hを発見した(図3)。これらの結果から彼らは、1つの遺伝子によって1つの酵素タンパク質が合成されるという「一遺伝子一酵素説」を提唱するに至った。その後、酵素以外のタンパク質も遺伝子にもとづいてつくられることが明らかとなり、この仮説は「一遺伝子一ポリペプチド説」に拡張された。^③

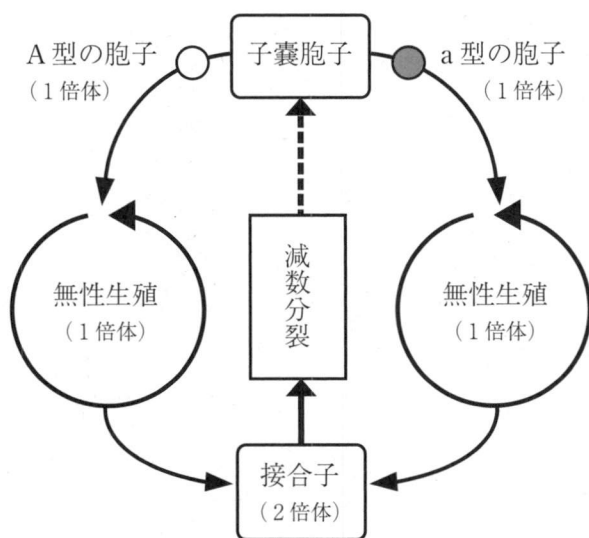


図1 アカパンカビの生活環

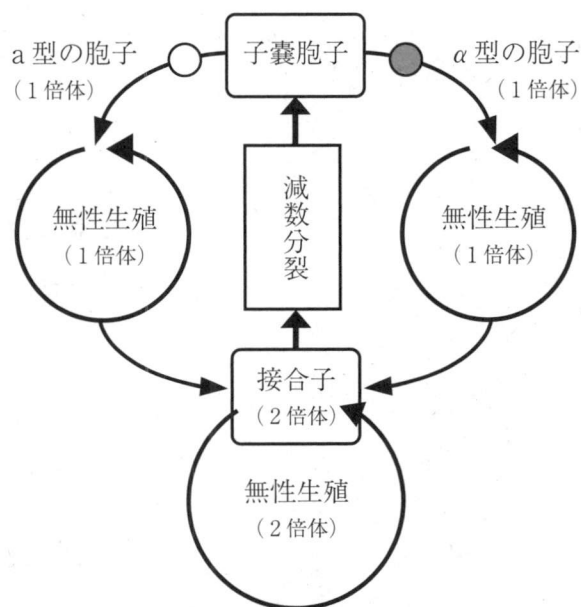


図2 出芽酵母の生活環

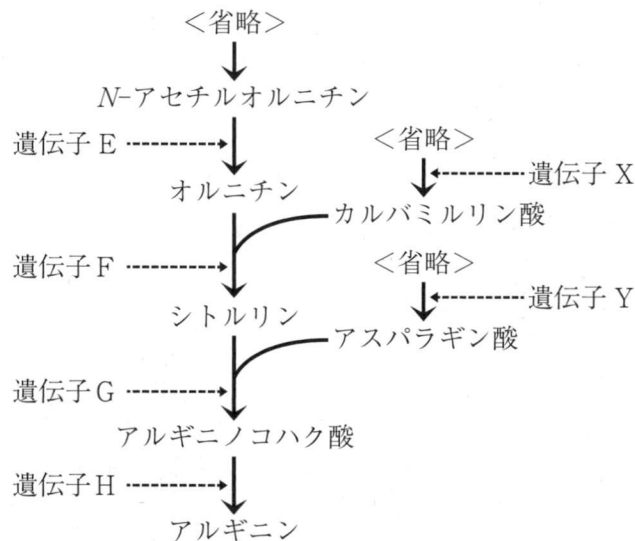


図 3

問 1. アカパンカビの胞子形成において、図 1 の破線部分で起こる現象を述べよ。

問 2. 下線部①の出芽酵母の 2 倍体細胞は、生育に必要な栄養成分が不足または欠乏すると無性生殖を停止して減数分裂を始める。この現象がもたらす利点を 2 つ述べよ。

問 3. 出芽酵母とアカパンカビの違いに関する次の文の A, B に適切な語句を答えよ。

出芽酵母はアカパンカビやアミガサタケと同類の子囊菌類に属するが、A 生物であるため、有性生殖の際、B を形成しない。

問 4. ビードルとテータムの方法でアカパンカビから分離した様々なアルギニン要求性の細胞株（下線部②）を調べたところ、図 3 の遺伝子 E ~ H の塩基配列のどこかにその遺伝子の働きを失わせる変異があることを確認した。しかし、アルギニン合成に必要な遺伝子 X および Y の塩基配列にはそのような変異を見出せなかった。その理由を述べよ。

問 5. 子囊菌類の生物を用いて、ビードルとテータムの実験法でアルギニン要求性の4種類の変異株を分離した。これらに野生株を加えた5種類の細胞株を別個の試験管に入れ、無作為に1～5の番号を付けた。また、グルコース、アルギニン、アルギニノコハク酸、シトルリン、オルニチンの5種類の基質も別々の試験管に入れて無作為に1～5の番号を付けた。匿名化した細胞株1～5と基質1～5を受け取った実験担当者は、基質1～5を加えて作製した最少培地で各細胞株の生育を試み、下表の結果を得た。

	最少培地に添加した基質				
	基質 1	基質 2	基質 3	基質 4	基質 5
細胞株 1	+	+	—	—	+
細胞株 2	—	+	—	—	—
細胞株 3	+	+	+	+	+
細胞株 4	+	+	—	+	+
細胞株 5	—	+	—	—	+

+ : 生育した — : 生育しなかった

その後の検証によって、各変異株は遺伝子 E～H(図3)のどれか1つの塩基配列にだけ変異をもつことが確認された。遺伝子 E の機能を失ったものを E⁻ 株と命名し、同様に遺伝子 F, G, H の機能を失ったものをそれぞれ F⁻ 株, G⁻ 株, H⁻ 株とよぶ。各株の交配で得た子嚢胞子がどの程度の割合で最少培地での生育能力を示すか調べたところ、E⁻ 株と F⁻ 株の交配では 25 %, E⁻ 株と G⁻ 株の交配では 4 %が生育した。さらに、遺伝子 E～H は 2 本の染色体に連鎖して存在し、片方の組換え価は 8 %, もう一方は 20 %であることが判明した。

- (1) 細胞株 1 の由来は野生株か変異株か、変異株の場合は働きを失っている遺伝子の種類を答えよ。
- (2) 基質 4 の名称を答えよ。
- (3) F⁻ 株と G⁻ 株の交配で得た子嚢胞子の何%が最少培地で生育するか答えよ。
- (4) F⁻ 株と H⁻ 株の交配で得た子嚢胞子の何%が最少培地で生育するか答えよ。

問 6. 多数の出芽酵母(1 倍体細胞)に X 線を照射し、それらのうちから、最少培地で生育できないが、ある特定のアミノ酸を添加した最少培地では生育可能な 10 種類の変異株を分離し、変異株ア～コと命名した。そこでこれらの変異株を交配し、それぞれの接合子を最少培地に移して生育を試みたところ、下表の結果を得た。栄養要求の表現型を劣性とした場合、変異株ア～コにおいて見出された「栄養要求性に関与する遺伝子」は何種類であるか答えよ。

	変異株ア	変異株イ	変異株ウ	変異株エ	変異株オ	変異株カ	変異株キ	変異株ク	変異株ケ	変異株コ
変異株ア	－	＋	＋	－	＋	＋	＋	＋	－	＋
変異株イ	＋	－	＋	＋	＋	＋	＋	＋	＋	＋
変異株ウ	＋	＋	－	＋	＋	＋	－	＋	＋	－
変異株エ	－	＋	＋	－	＋	＋	＋	＋	－	＋
変異株オ	＋	＋	＋	＋	－	＋	＋	＋	＋	＋
変異株カ	＋	＋	＋	＋	＋	－	＋	－	＋	＋
変異株キ	＋	＋	－	＋	＋	＋	－	＋	＋	－
変異株ク	＋	＋	＋	＋	＋	－	＋	－	＋	＋
変異株ケ	－	＋	＋	－	＋	＋	＋	＋	－	＋
変異株コ	＋	＋	－	＋	＋	＋	－	＋	＋	－

＋：生育した －：生育しなかった

問 7. 下線部③「一遺伝子ーポリペプチド説」は、セントラルドグマの解明につながる歴史的な学説である。しかし、すべての生物のあらゆる「1つの遺伝子」が「1つのポリペプチド」を指定するとは言えない。この学説にあてはまらない例を3つ述べよ。

4. バイオームと生態系に関する各問いに答えよ。

世界の各地域に生息する生物群の全体像は、年降水量や年平均気温を中心とする気候条件によって複数のバイオームに大別される。バイオームはその地域の に依存するため、 を外観的にとらえた によって区別される。何らかの理由で が遷移している場合、 に達することで本来のバイオームが形成される。バイオームは気候変動の影響を受けるため、世界地図上に描かれた各バイオームの領域は年月とともにその位置を変えていくと予想される。生態系はある領域に存在する生物群集とそれらを取りまく環境を合わせた全体のシステムであり、その成り立ちには食物網などを経由したエネルギーや物質の移動が関与している。

問 1. ア～ウの に入る適切な語句を答えよ。

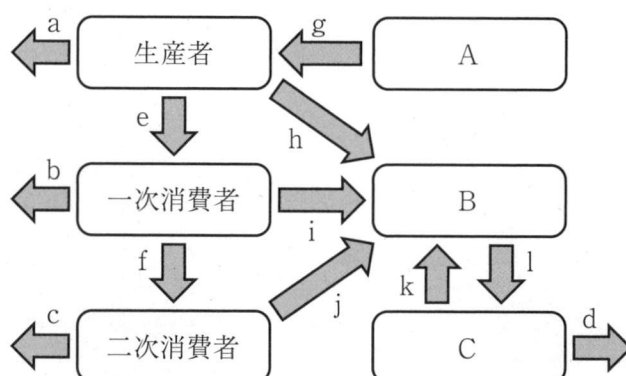
問 2. 遷移に関する次の a～e の文章のうち誤っているものをすべて選び、記号で答えよ。

- a. 遷移の進行にともなって陰樹林が陽樹林に入れ替わる。
- b. アカマツは暖温帯の乾性遷移における代表的な先駆種である。
- c. 一次遷移の初期よりも後期の方が果実や種子が遠方に飛散しにくい。
- d. 大雨による土石流で谷間の林が流出したことで始まる遷移は一次遷移である。
- e. 本州北部の冷温帯での遷移では最終的にブナやミズナラなどの森林が形成される。

問 3. バイオームに関する次の a～e の文章のうち誤っているものをすべて選び、記号で答えよ。

- a. サバンナの年降水量が増加すると照葉樹林になる。
- b. 年降水量 1000 mm のツンドラが温暖化するとステップに変わる。
- c. コヨーテやプレーリードッグはサバンナに生息する代表的な哺乳類である。
- d. 山梨県の標高 2000 m と北海道中央部の標高 500 m のバイオームは類似する。
- e. 降雨の季節と量が地中海沿岸と同様になれば本州でも硬葉樹林が形成される。

問 4. ある生態系を数年間調査したところ、生産者と各消費者およびA～Cの間を様々なエネルギーが矢印 a～l の方向に移動していることが明らかとなった。



- (1) A にあてはまるものの名称を 2 つ答えよ。
- (2) C にあてはまる生物のグループの名称を 2 つ答えよ。
- (3) 本州の森林の生態系において、その場の状況で栄養段階の位置が変わる野生動物の性質を答えよ。
- (4) 外部の空間に出ていくエネルギー(矢印 a～d)は、どのようなしくみで生じるのか述べよ。
- (5) 人間が利用している大量の生物由来のエネルギーの中には、今回の調査では見出せないものもある。何に由来するどのようなエネルギーであるか述べよ。

問 5. ある湖を数十年にわたり調べたところ、生産者の総生産量は $475 \text{ (J/(cm}^2 \cdot \text{年))}$ であると判明した。また、二次消費者までの呼吸量、被食量、枯死・死滅量、不消化排出量・老廃物排出量も一部を除き見積もることができたため、下表にまとめた(単位 $\text{J/(cm}^2 \cdot \text{年)}$)。

	呼吸量	被食量	枯死・死滅量	不消化排出量 ・老廃物排出量
生産者	96.5	65.8	10.4	0.0
一次消費者	17.8	13.5	2.0	1.8
二次消費者	8.0	0.2	0.3	<分析中>

- (1) 生産者の純生産量を解答欄Ⅰに、一次消費者の生産量を解答欄Ⅱにそれぞれ答えよ。
- (2) 一次消費者の成長量を答えよ。
- (3) 二次消費者のエネルギー効率を 20 %とした場合の二次消費者の成長量を答えよ。

