

第1問 遺伝に関する文1および2を読み、I～XIIの各問に答えなさい。

〔文1〕 微生物の生育に必要な最小限の化学物質を含む培地を最少培地というが、最少培地の組成は微生物の種類によって異なる。表1に2種類の最少培地の組成を示した。

微生物は培地に含まれている化学物質をもとに、必要な生体成分を合成することができる。最少培地で生育できない突然変異体を分離することによって、代謝系に欠損をもつ栄養要求性突然変異体が得られる。この栄養要求性突然変異体は、それが必要とする物質を加えた最少培地で生育できる。

アカパンカビは一倍体(半数体ともいう)の状態では生活するが、二倍体の世代ももつのでかけ合わせ実験が可能である。また、異なった株の菌糸の間で融合が起こると遺伝的に異なった核が共存した状態(ヘテロカリオン)になる。ビードルとテイタムはアカパンカビの栄養要求性突然変異体の研究から遺伝子の働きに関する仮説を提唱した。

アカパンカビを用いた次のような遺伝実験について考えてみよう。アカパンカビの生育に代謝産物Pが必要で、前駆物質からPが合成されるまでに3種の間体(A, B, およびC)が生じる。また、1つの反応は1つの酵素で触媒されることが分かっている。そこで、Pの合成経路の酵素遺伝子に欠損をもつためにPを生産できなくなった変異体を5株分離した。かけ合わせによって、5つの変異遺伝子はそれぞれ異なる1つの遺伝子座に位置づけられた。野生型および各変異体の生育を、最少培地、最少培地にPの合成経路の間体のいずれか1つを加えた培地、および、最少培地にPを加えた培地で調べたところ表2の結果が得られた。

問I 表1中の成分について。

A 硝酸ナトリウムはどのような生体高分子の原料として用いられるか。生体高分子とその構成単位の名称を例にならって2組記しなさい。

(例) でんぷん——ブドウ糖

B 銅イオンや亜鉛イオンなどの金属イオンの、生体内における働きは何か。

問Ⅱ A培地で生育する微生物とB培地で生育する微生物の代謝に関する主要な相違点は何か。そのように判断した理由を含めて60字以内で記しなさい。

問Ⅲ 下線部(a)について。この仮説を何というか、・・・説のように記しなさい。

問Ⅳ 表2中の突然変異とそれによって変化を受ける酵素反応を対応させ、変異体1：X→Yのように記しなさい。

問Ⅴ 変異体1の変異と変異体2の変異を同時にもつ二重変異体は、表2の実験で用いられた培地のどれで生育できるか、生育可能なすべての培地を記しなさい。

問Ⅵ 変異体1と変異体2で作ったヘテロカリオンは野生型の表現型を示した。この結果が生じたしくみについて遺伝子の働きの観点から80字以内で記しなさい。

問Ⅶ 変異体1と変異体3で作ったヘテロカリオンも野生型の表現型を示した。この結果と文中の下線部の仮説は調和しない。この結果を説明するためには仮説をどのように変更することが必要か、50字以内で記しなさい。

表1 2種類の最少培地の組成

A 培地		B 培地	
硝酸ナトリウム	6 g	硝酸ナトリウム	1 g
硫酸マグネシウム	0.52 g	硫酸マグネシウム	0.25 g
塩化カリウム	0.52 g	塩化ナトリウム	0.1 g
リン酸カリウム	1.52 g	リン酸カリウム	0.25 g
塩化カルシウム	0.01 g	塩化カルシウム	0.01 g
ブドウ糖	10 g	微量元素を含む化合物*	少量
微量元素を含む化合物*	少量		
水	1 l	水	1 l

*微量元素を含む化合物：ホウ酸，硫酸マンガン，硫酸亜鉛，硫酸銅，モリブデン酸ナトリウム，硫酸第二鉄

表2 野生型と変異体の生育実験の結果

	最少培地	最少培地に加えたもの			
		P	A	B	C
野生型	+	+	+	+	+
変異体 1	-	+	+	+	-
変異体 2	-	+	-	+	-
変異体 3	-	+	+	+	-
変異体 4	-	+	-	-	-
変異体 5	-	+	+	+	+

+は生育できること，-は生育できないことを示す。

〔文2〕 ほ乳類の体細胞の染色体は互いに対をなす相同染色体から構成されてい
て、たとえばウマは32対、ロバは31対の染色体をもつ。^(a)それらのうちの1
対はX染色体とY染色体とからなる性染色体で、XXの組合せでは雌に、X
Yの組合せでは雄となる。残りの染色体は常染色体と呼ばれ、雌雄で共通で
ある。^(b)雌では発生の途中で、2本のX染色体のうち1本が不活性化され、細胞分裂を経ても不活性化された状態で引き継がれる。父親由来あるいは母親由来のどちらのX染色体が不活性化されるかはランダムで、細胞ごとに異なる。

ほ乳類では、発生の過程で性染色体がXYの個体の生殖腺は精巣へと分化し、XXの個体では卵巣へと分化する。次いで、精巣から分泌される雄性ホルモンなどのホルモンが、最終的に個体を雄に分化させる。^(c)一方、精巣由来のホルモンがない場合には、個体は雌へと分化する。

性染色体には性決定に関与する遺伝子ばかりではなく、多くの遺伝子が存在する。たとえば、ヒトのX染色体には赤と緑の色覚に関与する遺伝子が存在し、これらの遺伝子に異常があると色覚に異常を生じる。^(d)また、ネコのX染色体にはOとoからなる対立遺伝子が存在し、Oが働くとき毛が茶色になり、働かない場合には黒色になる。^(e)

問Ⅷ 下線部(a)について。

- A 各相同染色体上の対をなす遺伝子には塩基配列の異なるものがあり、かつ相同染色体間に組換えが起こらないと仮定した場合、1頭の雄ウマからは何通りの遺伝子構成をもつ精子が形成されるか。解答には指数を用いてよい。
- B ウマとロバの雑種であるラバには生殖能力がない。その理由を70字以内で述べなさい。

問IX 下線部(b)について。乳汁の分泌は雌に見られる形質であるが、その量には多くの遺伝子が関与している。乳量の多い乳牛を育種するには、雌ばかりではなく、雄を選抜することも重要である。その理由を70字以内で述べなさい。

問X 下線部(c)について。雄性ホルモンはコレステロールから合成され、さらに雄性ホルモンを前駆物質としてろ胞ホルモンが合成される。雄性ホルモンの合成に必要な酵素の遺伝子はY染色体上にあるかないか、理由をつけて80字以内で述べなさい。ただし、X染色体とY染色体には共通の遺伝子はないと仮定しなさい。

問XI 下線部(d)について。

- A 赤緑色覚異常は男性と女性のどちらに多いか。
- B このような遺伝様式を何と呼ぶか。

問XII 下線部(e)について。

- A Oo の遺伝子型をもつ雌に、さらに白斑を生じる遺伝子をもつなどの条件がそろえば、三毛ネコとなる。三毛ネコに、白以外に2種の毛色が現れる理由を80字以内で述べなさい。
- B 性染色体の数の異常により雄の三毛ネコが生まれることがごくまれにある。その性染色体の構成として、もっとも単純と考えられる例を1つあげなさい。

第2問 生体の構造と働きに関する文1および2を読み、I～XIIIの各問に答えなさい。

〔文1〕 アメーバやゾウリムシのような小さな動物は外界との間で直接拡散によるガス交換を行う。体の容積からみて体表面積が十分大きいので外呼吸のための特別な器官を必要としない。しかし脊椎動物や体の大きい無脊椎動物では体の容積に対する体表面積の比率が小さく、外呼吸のための特別な器官が必要となる。外呼吸で体内に入った酸素は細胞内でATPを作り出すクエン酸回路や電子伝達系(水素伝達系)で使われる。この過程で放出される二酸化炭素は細胞から運ばれて体外へ排出される。^(a)

外呼吸には皮膚呼吸、えら呼吸、肺呼吸、気管呼吸などがある。多くの組織や器官を持つ水生動物はガス交換のためにえらという器官を進化の過程で発達させてきた。魚類のえらは多数の薄い板状の組織が平行に並び、水との接触面積が大きくなっている。この組織は血管がよく発達し、そこを流れる血液の方向と通過する水の方向とは逆向きになっている。^(c) 空気には水よりもはるかに高濃度の酸素が含まれているが魚類を空気中に出すとえら呼吸がうまく働かなくなる。^(d)

カエルなどの両生類は口を閉じ、口腔を収縮させ陽圧をかけて肺に空気を送るが、ヒトなどのほ乳類では胸郭内が陰圧になることで空気は鼻、口、気管を通して肺に流入する。^(e) 鳥類は飛行のために多くのエネルギーを必要とするので、それに見合うガス交換のための独特の機構を発達させてきた。^(f) イナゴやミツバチなどの昆虫類では空気が組織を循環してガス交換が行われる。空気は体の表面の小さな開口部から入り、細かく枝分かれした気管に到達し、組織の細胞との間で直接ガス交換が行われる。^(g)

- 問Ⅰ 下線部(a)について。この過程を何と呼ぶか。名称を記しなさい。
- 問Ⅱ 下線部(b)について。ほ乳類の組織から肺への二酸化炭素の運搬の過程を 80 字以内で説明しなさい。
- 問Ⅲ 下線部(c)について。このことによってどのような効果があるか。40 字以内で述べなさい。
- 問Ⅳ 下線部(d)について。この理由の 1 つはえらの構造が空气中で維持できなくなるからである。その原因を記しなさい。
- 問Ⅴ 下線部(e)について。このしくみを 50 字以内で述べなさい。
- 問Ⅵ 下線部(f)について。この機構を 50 字以内で説明しなさい。
- 問Ⅶ 下線部(g)について。その名称を記しなさい。
- 問Ⅷ 昆虫類は全動物種の約 75% を占めるが、体はどれも小さい。昆虫類の体がほ乳類のように大きくなる理由を呼吸と関連させて 100 字以内で述べなさい。

〔文2〕 ほ乳類の消化管は栄養素や水分を体内に取り込む働きをしている。食物の消化と吸収には、食物を柔らかくし、移動させ、胃液などの消化液と混ぜ合わせる必要がある。これらの過程は神経やホルモンなどによる調節を受けている。また、消化や消化酵素の働きは、胃液、すい液、肝臓で作られる胆汁(胆液)などによって補助されている。

消化液の1つである胆汁は、重炭酸ナトリウムなどの電解質溶液に胆汁酸、胆汁色素などが溶け込んだものであり、胆汁酸は疎水性の部分と親水性の部分から構成されている。胆汁は通常は胆のうに貯えられており、食後に胆管を通して十二指腸に送りこまれ、腸管からの脂肪の吸収を助けている。

すい液の分泌が調節されるしくみを調べるために行われた実験として次のようなものがある(図1)。

イヌを麻酔して開腹し、小腸やすい臓に分布する神経をすべて切断した後、小腸の一部を切り離した。次に、図のように、切断部をつなぎ、切り離された小腸の両端を閉じた。最後に、図のようにチューブAとBを取りつけた。以上の操作を2頭のイヌについてまったく同様に行った。なお、手術時小腸やすい臓に分布する血管は傷つけなかったものとする。1頭のイヌには、チューブAから薄い塩酸を注入したところ、すい液が分泌された。このすい液をチューブBから採取し、タンパク質を取り除いた(この液をCとする)。他方のイヌに、チューブAから薄い塩酸を注入した後ただちに液Cを注入したところ、すい液は分泌されなかった。

問Ⅸ 下線部(a)について。胃液が食物中のタンパク質の消化に果たす役割を130字以内で述べなさい。

問Ⅹ 下線部(b)について。胆汁色素は何からつくられるか。

問Ⅺ 下線部(c)について。脂肪の吸収における胆汁酸の役割を90字以内で述べなさい。

問Ⅻ 下線部(d)について。すい液が分泌されたしくみを 100 字以内で説明しなさい。

問ⅩⅢ 下線部(e)について。すい液が分泌されなかった理由を 50 字以内で述べなさい。

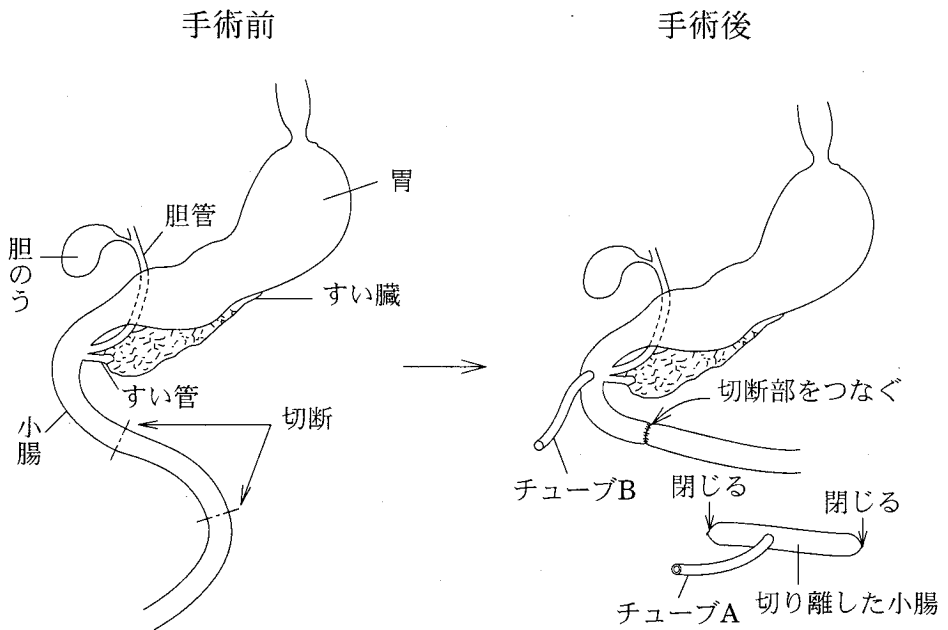


図1 すい液の分泌が調節されるしくみを調べる実験

第3問 生物の環境と生活に関する文1および2を読み、I～IXの各問に答えなさい。

〔文1〕 ある種の線虫^(注)は、モデル動物としての利点を多くもち、さまざまな研究に広く用いられている。利点には、1個体が約1000個という少ない細胞で構成されていることや飼育や観察が容易なこと、ゲノムのほぼすべての塩基配列がわかっていることなどがある。さらに、突然変異体を得たり、遺伝子を比較的簡単に導入できることも、研究材料として優れた点である。

最近行われた興味深い研究の1つに、線虫の嗅覚に関するものがある。線虫も他の動物と同じようにさまざまな化学物質に応答し、近づく行動や離れる行動をとる。線虫において、さまざまな化学物質を感知する感覚細胞は、全部で20個程度である。このうち、嗅細胞A、B、およびCの3つのタイプのそれぞれ2個(計6個)の細胞は、揮発性の化学物質に対する応答の大半を担っている。嗅細胞AとCは誘引性の化学物質を感知し、嗅細胞Bは忌避性の化学物質を感知する。たとえば、ジアセチルという化学物質は、*odr 10*という遺伝子から作られる受容体タンパク質に結合する。嗅細胞Aは*odr 10*遺伝子を発現しており、ジアセチルを感知すると興奮し、その情報を別の神経細胞に伝達する。その結果、最終的に個体はジアセチルの濃度が高いところに集まる。また、*odr 10*遺伝子に突然変異が起こって機能が失われた個体(*odr 10*変異体)では、ジアセチルに対する応答性は著しく損なわれている。以下に、3つの実験を紹介する。

(注) 学名を *Caenorhabditis elegans* (シノラブダイティス・エレガンス) という。本文中の線虫はすべてこの種を指す。

(実験1) レーザービームを照射して細胞を破壊するという技術を用いて、嗅細胞AとCの働きを3つの化学物質に対する応答(誘引行動)の観点から調べたところ、表3に示した結果が得られた。

(実験2) 野生型の *odr 10* 遺伝子を嗅細胞Bだけで発現するように組換えDNAを構築し、これを *odr 10* 変異体に導入した遺伝子導入体を作った。ジアセチルに対する応答を観察したところ、本来は誘引因子であるジアセチルに対して忌避行動をとるようになっていた。また、この個体の嗅細胞Bをレーザー照射によって破壊すると、ジアセチルに対する応答(忌避行動)は失われた。

(実験3) *lim 4* という遺伝子に突然変異が起こると、本来は嗅細胞Bになるはずの細胞が、嗅細胞Cと同じ性質を持つ細胞に変化する。この変異体では、嗅細胞Bに特異的に発現する遺伝子の発現は見られなくなっていた。一方、嗅細胞Cだけに特異的に発現する遺伝子を発現する細胞の数は2倍になっていた。

次に、*lim 4* 変異体に加えて、(a) *lim 4* と *odr 10* の二重変異体(両方の遺伝子が突然変異を起こした個体)、(b) この二重変異体に実験2に用いたものと同じDNAを導入した個体、(c) 二重変異体に野生型の *odr 10* 遺伝子を嗅細胞Cだけで発現するような組換えDNAを導入した個体を作った。それぞれのジアセチルに対する応答を観察したところ、*lim 4* 変異体と(c)には野生型と同様の誘引行動が見られ、(a)と(b)の誘引行動は野生型に比べて著しく弱まっていた。

表3 レーザー照射実験の結果

	化 学 物 質		
	2-ブタノン	ジアセチル	トリメチルシアゾール
非照射	++	++	++
嗅細胞Aを照射	++	+	++
嗅細胞Cを照射	-	++	++
嗅細胞AとCを照射	-	+	+

++は強い誘引行動が見られたこと、+は誘引行動は見られたが著しく弱くなっていたこと、-は誘引行動が見られなかったことを示す。

問Ⅰ 実験1について。

A 嗅細胞Cは3つの化学物質のうち、何を感知していると考えられるか。化学物質名をすべて記しなさい。

B これら3つの化学物質のうち、嗅細胞AとC以外の細胞でも感知される可能性があるものをすべて記しなさい。ただし、レーザービームの照射を受けた嗅細胞の働きは完全に失われたものとする。

問Ⅱ 実験2について。遺伝子導入体がジアセチルに対して忌避行動をとるようになったしくみを、以下の4つの語句を少なくとも1回使用して、150字以内で説明しなさい。

嗅細胞B, 忌避行動, *odr 10* 変異体, 遺伝子導入体

問Ⅲ 実験3について。なぜ、(a)から(c)の個体は、ジアセチルに対するこのような応答を示したのか。理由をそれぞれ50字以内で述べなさい。

問Ⅳ 線虫のゲノムには、化学物質の受容体タンパク質に対応する遺伝子が数百個存在し、20個程度の感覚細胞に発現している。すなわち、1個の嗅細胞には、さまざまな匂いに対する多種類の受容体タンパク質が存在する。一方、ほ乳類では、匂いの受容体タンパク質に対応する遺伝子の数は線虫と大体同じであるが、数百万から数千万個存在する嗅細胞1個1個には1種類の受容体タンパク質しか発現していない。この相違から生じる利点を要約すると、線虫は「少ない嗅細胞で、多様な化学物質の情報を2つの行動(誘引行動と忌避行動)に集約させる効率的なしくみ」と表すことができるが、ほ乳類はどのように表せばよいか。2つの利点を考え、それぞれ70字以内で述べなさい。

〔文2〕 生物個体の出生から、成長、生殖、死亡までの過程を生活史と呼び、生物種によって特徴的な生活史をもっている。たとえば、川と海を行き来して、1度の生殖で一生を終えるサケの生活史を見てみよう。

サケ(シロザケ)は秋から冬に産卵のために川を上り、親魚は川底の砂れきの中に産卵する。1個体の雌はおよそ3000個の卵を産む。^(a)春になると稚魚は砂れきの間から浮上し、まもなく川を下り始め、海に入る。その後、稚魚はしばらく沿岸に滞留し、夏に体長が8cmを超え、水温が13℃くらいになると沖合に出る。その回遊範囲は日本沿岸からアラスカ湾までの数千kmに及ぶ。この北太平洋の亜寒帯水域は生物生産力が高く、^(b)サケは豊富な食物条件下で成長し、3～5歳になると性成熟を開始して、生まれた川に再び戻ってくる。

サケのもつこの母川回帰性と生涯1度の生殖という特性により親世代とその子世代の数の対応が容易で、サケ個体群を安定的に維持するためにはどのくらいの漁獲量が望ましいか^(c)という研究が古くから行われている。

また、サケの増産を図るため、明治以来、人工ふ化と稚魚の放流が各地で行われてきた。放流技術の改良によりサケの漁獲量は1970年頃から増加し、回帰率(放流数に対する回帰数の割合)も2%から4%にあがった。これは、1960年代後半から始まった給餌飼育による放流稚魚の大型化と放流時期の適正化^(d)が放流後の生存率を高めた結果と考えられている。一方、近年になって、回帰するサケの大きさが徐々に小さくなってきており、回帰する年齢も高齢化しつつある。^(e)

問V 下線部(a)について。多くの魚種では卵の直径は1～2mmで、産卵数はこれよりもはるかに多い。たとえば体がサケと同じくらいの大きさであるスズキでは20万個を、マダラでは200万個を超えるほどである。サケは産卵数が少ない分、卵や発生初期の生存率を高めるように、(A) 大型の卵を、(B) 砂れき中に産みつける方法をとっている。A、Bの意義について、それぞれ20字以内で説明しなさい。

問Ⅵ 下線部(b)について。北太平洋では冬の風の強さと夏の動物プランクトン量に正の相関があることが報告されている。この両者はどのように結びつくと考えられるか。60字以内で述べなさい。

問Ⅶ 下線部(c)について。次のように仮定して、ある川の自然繁殖の場合を考えよう。性比を常に1:1、雌1個体の産卵数を3000、卵から稚魚までの死亡率を98%、稚魚から母川に回帰するまでの死亡率を95%とする。ただし、回帰数には上限があり、それを15000個体とする。回帰数から一部を漁獲して差し引くと残りが生殖に関わる親魚数になる。親魚数をその親世代の数と同じに維持する漁獲数を維持生産量と呼ぶ。以下の設問に答えなさい。

A 親世代の数が7000個体および11000個体の場合、維持生産量はそれぞれいくらか。

B 最大の維持生産量はいくらか。また、その時の親魚数はいくらか。

問Ⅷ 下線部(d)について。放流時期の適正化において考慮すべき重要な外的要因はなにか。文中の語句を用いて2つあげなさい。

問Ⅸ 下線部(e)について。ロシア系サケ(ロシア極東部の河川に回帰するサケ)では回帰数はそれほど増加していないが、同じような小型化・高齢化が観察されている。この理由を考え、50字以内で述べなさい。