

〔 I 〕 以下の文章を読んで、設問に答えなさい。

1665年に (A) は、自作の顕微鏡を用いて (B) の切片を観察した結果、小室が集まった構造を発見し、cell（細胞）と命名した。(A) は細胞を発見した最初の人と言われているが、彼が見たものは細胞そのものではなく (C) の残滓であったと考えられる。(D) 年にはドイツの植物学者シュライデンが「植物の体は細胞からできている」ことを発表し、翌年、動物学者 (E) は動物細胞も同様に細胞からできていると発表し、「すべての生物は細胞を基本単位としてできている」という (F) が確立された。さらに、1858年には『細胞病理学』の中で、(G) が「すべての細胞は細胞から生じる」という考えを示した。この考えは現在でも一般的である。例えば、我々の体を構成するさまざまな組織・臓器の細胞は、もとは1つの細胞である受精卵が分裂・増殖・分化した結果できている。このことは言い換えれば、受精卵は (H) をもつと言える。それでは、もとは一見すると均一な1つの卵がどのようにして異なる組織や器官を産み出していくのだろうか。細胞が分化するためには (a) や、他の細胞からの因子が作用していることが重要である。

脊索動物であるホヤでは、細胞が将来どのような組織になるかが発生の比較的早い時期に決まる。このような発生様式をもつ卵を (I) と呼ぶ。ある種のホヤが初期卵割するときの細胞分裂の速度は一定であり、^① 18℃で飼育した場合、受精後、約11時間をかけ尾芽胚（細胞数約2050個）となる。そして、このときまでに胚を構成するそれぞれの細胞は、^② 筋肉、神経細胞、脊索、間充織、表皮、内胚葉、心臓、生殖細胞などへと分化決定する。このような細胞運命の決定の際に重要となるのが細胞運命決定因子の存在である。例えば、ホヤ卵は受精時、均一にみえた細胞質に変化が生じ、(J) 側に黄色の細胞質が偏って観察される。この黄色の細胞質のあるところは将来筋細胞となることがわかっており、この中に含まれる因子が筋肉になる運命を決めていることが明らかになった。^③ このように細胞の中に含まれる特定の因子の存在が組織の分化に重要であることが近年次々と明らかにされつつある。

問1 文中の空欄 (A) ～ (J) にもっともよくあてはまる語句を、次の (ア) ～ (ヨ) の中から1つずつ選び記号で答えなさい。

- | | | | | |
|------------|-----------|--------------|------------|----------|
| (ア) 1556 | (イ) 1683 | (ウ) 1758 | (エ) 1838 | |
| (オ) ゾウリムシ | (カ) タマネギ | (キ) ムラサキツユクサ | (ク) コルケ | |
| (ケ) 細胞膜 | (コ) 細胞壁 | (サ) 核 | (シ) 細胞体 | (ス) ゴルジ体 |
| (セ) モザイク卵 | (ソ) 調節卵 | (タ) 端黄卵 | (チ) 盤割卵 | (ツ) キメラ卵 |
| (テ) 植物極 | (ト) 動物極 | (ナ) 原口背唇 | (ニ) 背 | (ヌ) 腹 |
| (ネ) 選択説 | (ノ) 前成説 | (ハ) 後成説 | (ヒ) 細胞説 | (フ) 共生説 |
| (ヘ) 分化全能性 | (ホ) 調節性 | (マ) 誘導能 | (ミ) 分裂能 | (ム) 適応性 |
| (メ) シュワン | (モ) フォークト | (ヤ) フック | (ユ) フィルヒョー | |
| (ヨ) シュペーマン | | | | |

問2 文中の空欄 (a) にもっともよくあてはまる文を、次の (ア) ～ (エ) の中から1つ選び記号で答えなさい。

- (ア) 染色体中の遺伝子そのものが変化するのではなく、細胞質が核に作用すること
- (イ) 染色体中の遺伝子そのものが変化し、核が細胞質に作用すること
- (ウ) 染色体中の遺伝子そのものが変化するのではなく、核が細胞質に作用すること
- (エ) 染色体中の遺伝子そのものが変化し、細胞質が核に作用すること

問3 ある動物の染色体は $2n = 4$ であり雌雄同体で自家受精できることがわかっている。この動物の配偶子における可能な染色体の組み合わせは全部で何通りあるか、整数で答えなさい。また、これらの配偶子を任意に自家受精させた接合子における可能な染色体の組み合わせは全部で何通りあるか、整数で答えなさい。ただし、転座や重複など染色体の組換えや異常は生じないものとする。

問4 下線部①について、以下の問いに答えなさい。

- (1) 尾芽胚における全細胞数と受精後の時間から、1回の分裂に要するおおよその時間と、細胞が受精後、尾芽胚になるまでに分裂するおおよその回数を算出し、それぞれ整数で答えなさい。
- (2) 18℃で発生させていた胚の飼育温度を途中から16℃に変えて発生させたところ、尾芽胚（細胞数約2050個）になるまでに受精後約14時間かかった。飼育温度を18℃から16℃に変えると、18℃のときと比較して細胞分裂速度は約半分になると仮定すると、受精後何時間から温度を16℃に変えたと考えられるか、整数で答えなさい。
- (3) 受精後のある時間 x における個々の細胞の半径の平均は $20\mu\text{m}$ であった。受精卵の半径は約 $100\mu\text{m}$ であり、分裂前後での胚全体の体積は保存されると仮定すると、時間 x における細胞の総数は何個と見積もられるか整数で答えなさい。また、この時間 x は約何時間か、整数で答えなさい。
- (4) カエルの発生では受精卵から尾芽胚に到るまでに次の（ア）～（ク）のうちどの発生過程をたどるか、記号で答えなさい。

（ア）桑実胚 → 胞 胚 → 原腸胚 → 神経胚

（イ）原腸胚 → 胞 胚 → 桑実胚 → 神経胚

（ウ）胞 胚 → 神経胚 → 桑実胚 → 原腸胚

（エ）桑実胚 → 原腸胚 → 神経胚 → 胞 胚

（オ）胞 胚 → 桑実胚 → 神経胚 → 原腸胚

（カ）原腸胚 → 神経胚 → 胞 胚 → 桑実胚

（キ）神経胚 → 桑実胚 → 胞 胚 → 原腸胚

（ク）神経胚 → 胞 胚 → 原腸胚 → 桑実胚

問5 下線部②について、以下の問いに答えなさい。

- (1) 以下の1～7はそれぞれ何という細胞や組織・器官の特徴を示しているか、下記の(あ)～(こ)の中からそれぞれ1つずつ選び記号で答えなさい。

1. 体の表面にあり、内部を保護する
2. からだを動かすために直接はたらき、収縮性をもつ
3. 軸索をもち、著しく非対称な構造をもった細胞である
4. 上皮組織間の間隙をうめる遊離性の細胞である
5. 胃や腸など消化管に分化する
6. 神経管の直下を前後に走る棒状の支持器官である
7. 血液を送り出すポンプである

(あ) 筋肉 (い) 脊索 (う) 間充織 (え) 表皮 (お) 生殖細胞
(か) 内胚葉 (き) 心臓 (く) 神経細胞 (け) 肺 (こ) 骨

- (2) 神経細胞以外に電氣的刺激によって興奮する細胞や組織・器官を、以下の(あ)～(き)の中からすべて選び記号で答えなさい。

(あ) 筋肉 (い) 脊索 (う) 間充織 (え) 表皮 (お) 生殖細胞
(か) 内胚葉 (き) 心臓

- (3) 神経細胞の興奮は、全か無かの法則にしたがうので、刺激を強くしても活動電位の大きさは変わらない。それにもかかわらず、感覚器が刺激の強弱に関する情報を感覚神経細胞を通じて中枢に伝達することができるのはどのような機構によるものか、3行以内で答えなさい。

問6 下線部③について，ある生物において組織分化決定に関わる3種類のタンパク質C，FおよびGは以下のような性質をもつことがわかっている。

性質(1) タンパク質Cは内胚葉への分化を促す

性質(2) タンパク質Fは筋肉への分化を促す

性質(3) タンパク質Gは神経への分化を促す

性質(4) タンパク質Cとタンパク質Gが同時に存在するとき細胞は脊索へ分化する

性質(5) タンパク質Cとタンパク質Fが同時に存在するとき細胞は間充織へ分化する

性質(6) タンパク質Fはタンパク質Gの働きを抑える

C，FおよびGを含む8種類のタンパク質(あ)～(く)をさまざまな組み合わせで未分化な細胞に加え，どのような組織に分化するかを観察したところ，下表のような結果が得られた(タンパク質を加えた場合は+，加えていない場合は－という記号で示してある)。C，FおよびGに対応するタンパク質としてもっとも適当なものを(あ)～(く)の中からそれぞれ1つずつ選び記号で答えなさい。ただし，C，FおよびG以外のタンパク質は上記の性質(1)～(6)の結果に影響を与えることはないものとする。

あ	い	う	え	お	か	き	く	分化後の組織
+	+	－	+	+	－	+	+	間充織
－	+	－	+	+	－	+	+	間充織
+	－	+	+	－	+	－	－	脊 索
－	－	+	+	+	+	－	－	内胚葉
+	－	+	－	+	+	+	－	筋 肉
－	－	－	－	－	+	+	－	筋 肉
+	－	－	－	+	－	－	+	神 経
+	－	－	－	－	－	－	+	神 経

〔Ⅱ〕以下の文章を読んで、設問に答えなさい。

酵母は、自然界の様々な環境に生息している真核生物であり、子囊菌類に分類されるものが多い。そして、分裂により増殖する分裂酵母と、① 出芽により増殖する出芽酵母に大別することができる。これら酵母は、細胞増殖様式が異なっていることから推測されるように、進化系統的には遠く隔たっている。出芽酵母の代表的なものが、② *Saccharomyces cerevisiae*であり、古くからぶどう酒などの醸造等に用いられてきた人類にとってなじみの深い微生物である。この酵母は、その実用性の高さなどから1996年に真核生物として初めて全ゲノム配列が解読され、そのゲノムサイズは約1200万塩基対であることが分かった。

酵母は、酸素の少ない条件で培養するとグルコースを分解してエタノールを生成するが、これをアルコール発酵と呼ぶ。この過程では、まず解糖系により1分子のグルコースから (A) 分子のピルビン酸が生成する。その後、③ ピルビン酸から、ピルビン酸脱炭酸酵素の働きによりアセトアルデヒドと二酸化炭素が生成する。さらに、アセトアルデヒドは、酵素（アルコールデヒドロゲナーゼ）によりエタノールに還元される。生成したエタノールにより他の微生物の増殖は阻害されるが、酵母はエタノールに対する耐性を有しているため増殖が可能である。

長い間人類は、酵母をはじめとした微生物の存在も知らずに発酵などの機能を利用してきた。1800年代になり、アルコール発酵が微生物の作用によるものとの主張もされたが、化学的な反応によるという考えが根強かった。やがて、パスツールは、酵母によるアルコール発酵には生きた酵母菌が必要であると実験的に証明した。その後、ドイツの生化学者である (B) は、酵母の細胞を破碎して得たしぼり汁（無細胞抽出液）でもアルコール発酵が起こることを見出した。この抽出液の中には、④ 様々な種類の酵素や補酵素が含まれており、これらがアルコール発酵の過程に関与していることが後の研究により明らかとなった。現在でも酵母は、分子生物学や遺伝学のモデル生物として広く利用されている。アメリカの生物学者であるリーランド・ハートウェルは、出芽酵母を用いた細胞周期に関する研究により、2001年にノーベル生理学・医学賞を受賞した。

タンパク質は、化学反応を触媒する酵素のみならず、イオンなどの低分子の輸送やシグナル伝達などの様々な機能を担っている。構造的にみるとタンパク質は、20種類のアミノ酸がペプチド結合により連結したポリペプチドであり、アミノ酸の並び（配列）のことを1次構造と呼ぶ。タンパク質を構成するアミノ酸の中で、グリシン ($\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{CO}_2\text{H}$) は最も単純な構造のアミノ酸であるが、アメリカ航空宇宙局（NASA）の探査船であるスターダストが採集した彗星のちりから発見されて大きなニュースとなった。ポリペプチドは、アミノ酸どうしの相互作用により、部分的に折りたたまれて特有な立体構造を取る。(C) 構造やジグザグ構造といった部分的な立体構造を二次構造、そして全体的な構造を三次構造と呼ぶ。また、特有の三次構造を持ったポリペプチドが何本か集まってできる立体構造を四次構造と呼ぶ。四次構造が形成されて初めて機能を発揮するタンパク質もある。

一般的に酵素は、その酵素に特有な物質（基質）とだけ結合することができて、この性質を (D) と呼ぶ。しばしば、「基質と酵素」の関係は「鍵と鍵穴」と表現されるが、1種類の化合物だけではなく様々な化合物を許容する酵素も報告されている。また酵素は、温和な条件下で目的とする反応のみを行えることから、グリーンケミストリーの観点からも注目されている。

問1 文中の空欄 (A) ～ (D) にあてはまる語句や数字を答えなさい。

問2 下線部①について、出芽とはどのような生殖法か、2行程度で説明しなさい。

問3 様々な生物を分類するにあたり、国際的な規則にしたがって学名が決められている。例えば、下線部②の酵母では、*Saccharomyces* は属名、*cerevisiae* は種小名である。この様に属名と種小名を並べる表し方を何法というか答えなさい。また、この様な分類の方法を整理し、「自然の体系」を著した人物の名前を答えなさい。

問4 下線部③のように、グルコースに酵母を嫌気的な条件で作用させると、グルコースから生成したピルビン酸が脱炭酸されて二酸化炭素が生成する。以下の食品 (あ) ～ (お) のうち、酵母の働きにより、作る過程で二酸化炭素が発生するものを一つ選び記号で答えなさい。

- | | | |
|---------|----------|---------|
| (あ) うどん | (い) カマボコ | (う) 食パン |
| (え) 餅 | (お) 豆腐 | |

問5 グルコースを呼吸基質として、酵母を十分に酸素が存在する条件で培養した。この時、酸素がない条件と比較して酸素を十分に与えた場合に酵母の細胞内で発達する細胞小器官の名前を答えなさい。

問6 下線部④について、補酵素とは何か、2行程度で説明しなさい。

問7 2分子のグリシンがペプチド結合により連結した直鎖状のペプチドの構造式を書きなさい。

問 8 ある生物が好気呼吸を行うときに放出する二酸化炭素 (CO_2) と分解に要する酸素 (O_2) の体積比 (CO_2 / O_2) を呼吸商と呼ぶ。アミノ酸の一種であるロイシン ($\text{C}_6\text{H}_{13}\text{O}_2\text{N}$) が好気呼吸により、二酸化炭素と水とアンモニアに完全に分解されるとき反応式を書きなさい。また、この反応の呼吸商を答えなさい。

問 9 次のノーベル賞受賞者 (あ)～(お) の中で、オワンクラゲから緑色蛍光タンパク質を発見し、その業績によりノーベル化学賞を受賞した人物を記号で答えなさい。

(あ) 野依良治 (い) 益川敏英 (う) 利根川進
(え) 田中耕一 (お) 下村脩

問10 菌界に属する生物は、子囊菌類、担子菌類、接合菌類などに分けられる。次の生物 (あ)～(お) の中で、子囊菌類に分類されるものを一つ選び記号で答えなさい。

(あ) シイタケ (い) アカパンカビ (う) サルノコシカケ
(え) ケカビ (お) クモノスカビ

〔Ⅲ〕以下の文章を読んで、設問に答えなさい。

外部から眼に入ってきた光は、水晶体（レンズ）を通して網膜に像を結ぶ。このとき、(A) という筋肉とチン小帯という結合組織の働きにより水晶体の厚さが変化することで、様々な距離に対して焦点が遠近調節される。また、^①瞳孔から入ってくる光の量は、(B) の筋肉の伸縮により調節される。網膜には視細胞があり、そこで光の刺激が電気的信号に変換され、視神経を通して、多くの視細胞からの信号が^②大脳の視覚野に集積され、処理される。

脊椎動物の視細胞には(C) 細胞と(D) 細胞の二種類があり、(C) 細胞は感度が高く、暗い場所での視覚を担う。(C) 細胞の視物質であるロドプシンは、オプシンと呼ばれるタンパク質と^③ビタミン A によく似たレチナールと呼ばれる色素とからなる。一方、(D) 細胞は、網膜の中央部の(E) とよばれる部分に特に多く分布しており、感度は低いですが、色を識別できる。ヒトには3種類の(D) 細胞があり、それぞれ青、緑、赤の光を吸収するロドプシンによく似た視物質（ここではそれぞれ青オプシン、緑オプシン、赤オプシンとよぶ）を含んでいる。ヒトの色覚は、これら^④3種類の色オプシンが吸収する光の波長の違いによって生じる。

眼の起源はかなり古く、約10億年前に多細胞生物が出現したときには、すでに原始的な眼を備えていたと考えられている。魚類から両生類、爬虫類、鳥類に至るまで多くの動物は網膜に4種類の色（赤、緑、青、紫外線）を識別する色オプシンをもっている。しかし、現在の哺乳類の多くは色覚が退化しており、青と緑の色オプシン遺伝子の機能が失われている。これは恐竜の全盛期に、哺乳類の祖先が夜行性となり色を認識する必要がなくなったためと考えられている。恐竜の絶滅後、ネズミのような哺乳類の祖先が様々な環境に進出する過程で、^⑤昼間にも活動するようになった霊長類では、紫外線を認識する色オプシン遺伝子に変異が入り青オプシンとなり、さらに赤オプシン遺伝子がX染色体上で重複して2つになり、その一方に変異が入り緑オプシンとなり、現在のヒトの3色の色覚が復活した。

問1 文中の空欄 (A) ～ (E) にあてはまる語句を答えなさい。

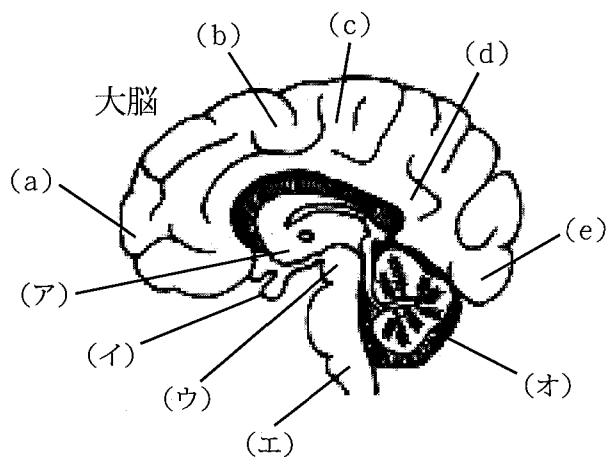
問2 ヒトの脳の構造を示した下図について以下の問いに答えなさい。

(1) 図中の (ア) ～ (オ) に相当する部位の名称を次の ① ～ ⑤の中から1つずつ選びそれぞれ番号で答えなさい。

① 延髄 ② 視床下部 ③ 小脳 ④ 中脳 ⑤ 脳下垂体

(2) 本文の下線部 ① について、瞳孔の調節や眼球の運動をコントロールしている脳の部位はどこか、下図の (ア) ～ (オ)の中から1つ選びなさい。

(3) 本文の下線部 ② について、視覚野は脳のどの辺に位置しているか、下図の (a) ～ (e)の中からもっとも近いものを1つ選びなさい。



問3 本文の下線部 ③ について、ビタミン A が不足すると最初にどのような目の病気になると考えられるか、次の (ア) ～ (オ)の中からもっとも適当なものを1つ選び記号で答えなさい。

(ア) 白内障 (イ) 緑内障 (ウ) 近視 (エ) トリ目 (オ) 老眼

問4 本文の下線部④について、以下の問いに答えなさい。

3色のオプシンの光吸収スペクトルは、青419nm、緑531nm、赤558nmの波長にそれぞれ吸収極大を示す。3つのオプシンの配列はよく似ていることから共通の祖先となるオプシン遺伝子に変異が入り、光の波長が変化することで進化してきたと考えられる。特に、赤オプシンと緑オプシンの配列は非常によく似ており、364個のアミノ酸のうち15個だけが異なる。このうち7個のアミノ酸が分光吸収特性の違いに関与しており、特に、277番目のチロシンがフェニルアラニンに置き変わると極大波長が－9 nm 変化し、285番目のスレオニンがアラニンに置き変わると－15nm 変化する。また、青オプシンと緑オプシンの分光吸収特性の違いに関与するアミノ酸も数多く知られており、この付近では281番目のトリプトファンがチロシンに置き変わると極大波長が短波長側にシフトする。

(1) 次ページの配列①～③は、これらの変異部位を含む3色のオプシンの伝令RNAの一部の配列を示している。次ページの遺伝暗号表を参考にして、それぞれの配列とオプシン遺伝子の組み合わせとして正しいと考えられるものを以下の(ア)～(カ)の中から1つ選びなさい。

- (ア) ① 赤オプシン, ② 緑オプシン, ③ 青オプシン
- (イ) ① 赤オプシン, ② 青オプシン, ③ 緑オプシン
- (ウ) ① 緑オプシン, ② 赤オプシン, ③ 青オプシン
- (エ) ① 緑オプシン, ② 青オプシン, ③ 赤オプシン
- (オ) ① 青オプシン, ② 赤オプシン, ③ 緑オプシン
- (カ) ① 青オプシン, ② 緑オプシン, ③ 赤オプシン

(2) 赤オプシン遺伝子の277番目と281番目と285番目のコドンを書きなさい。

3 色のオプシンの伝令 RNA の配列の一部（5' 末端から 3' 末端方向に表記）

① GGUGGUUGUGAUGGUAGGAUCCUUCUGUGUCUGCUACGUGCCCUACGCGGCCUUCGC

② GGUGGUGGUGAUGGUCCUGGCAUUCUGCUUCUGCUGGGGACCCUACGCCUUCUUCGC

③ GGUGGUGGUGAUGAUCUUUGCGUACUGCGUCUGCUGGGGACCCUACACCUUCUUCGC

遺伝暗号表

U U U フェニルアラニン	U C U セリン	U A U チロシン	U G U システイン
U U C フェニルアラニン	U C C セリン	U A C チロシン	U G C システイン
U U A ロイシン	U C A セリン	U A A 終止	U G A 終止
U U G ロイシン	U C G セリン	U A G 終止	U G G トリプトファン
C U U ロイシン	C C U プロリン	C A U ヒスチジン	C G U アルギニン
C U C ロイシン	C C C プロリン	C A C ヒスチジン	C G C アルギニン
C U A ロイシン	C C A プロリン	C A A グルタミン	C G A アルギニン
C U G ロイシン	C C G プロリン	C A G グルタミン	C G G アルギニン
A U U イソロイシン	A C U スレオニン	A A U アスパラギン	A G U セリン
A U C イソロイシン	A C C スレオニン	A A C アスパラギン	A G C セリン
A U A イソロイシン	A C A スレオニン	A A A リジン	A G A アルギニン
A U G メチオニン	A C G スレオニン	A A G リジン	A G G アルギニン
G U U バリン	G C U アラニン	G A U アスパラギン酸	G G U グリシン
G U C バリン	G C C アラニン	G A C アスパラギン酸	G G C グリシン
G U A バリン	G C A アラニン	G A A グルタミン酸	G G A グリシン
G U G バリン	G C G アラニン	G A G グルタミン酸	G G G グリシン

問5 赤，緑，青の3色のオプシンはそれぞれの波長の光を受容し続けると次第に疲労して感受性が低下する現象が知られている。この現象と関連して，現在の外科医の手術着の色が白ではなく，緑や青であることの理由としてもっとも適当と考えられるものを以下の（ア）～（オ）の中から1つ選びなさい。

（ア）青や緑には過度の緊張感をやわらげる効果があるから

（イ）青や緑には目の疲れをやわらげる効果があるから

（ウ）白衣では赤い血が付着したときに目立ってしまうから

（エ）白衣では赤い血の補色残像が目立ってしまうから

（オ）白衣では看護師と区別が付きにくいから

問6 ヒトの赤緑色覚異常は男性に多く女性には少ない。この理由を遺伝の形式の観点から3行程度で説明しなさい。

問7 本文の下線部⑤について，哺乳類の祖先から霊長類への進化にとって，色覚の復活と同時に，両眼の位置が両脇から前方に近づいてきて立体視が可能となったことも重要であったと考えられている。どのような生活環境の変化において，色覚の復活と立体視の獲得が霊長類にとってどのように有利に作用したと考えられるか，それぞれ2行以内で説明しなさい。