

2022 年 度

問題冊子

教 科	科 目	ページ数
理 科	生 物	19

試験開始の合図があるまで、問題冊子を開かないこと。

解答の書き方

1. 解答は、すべて別紙解答用紙の所定欄に、はっきりと記入すること。
2. 解答を訂正する場合には、きれいに消してから記入すること。
3. 解答用紙には、解答と選択した選択問題の番号、志望学部及び受験番号のほかは、いっさい記入しないこと。
4. 問題〔4〕、〔5〕は選択問題である。どちらか一方のみを解答すること。両方を解答してはいけない。選択問題〔4〕、〔5〕のうち、選択した問題の番号を解答用紙(その4)の所定の枠内に記入すること。

注 意 事 項

1. 試験開始の合図の後、すべて(5枚)の解答用紙に志望学部及び受験番号を必ず記入すること。
2. 理科の選択科目は、出願時に選択したものと異なるものについて解答してはいけない。
3. 下書き用紙は、片面だけ使用すること。
4. 試験終了時には、解答用紙を必ずページ順に重ね、机上に置くこと。解答用紙は、解答していないものも含め、すべて(5枚)を回収する。
5. 試験終了後、問題冊子及び下書き用紙は持ち帰ること。

〔1〕 次の文章を読み、以下の問い(問1～4)に答えよ。

「はじめ」の①声が聞こえた。先程から②心臓の拍動が速い。ここまでうまくやってきた。ここをクリアできれば、と思うからだろうか。1問目の問題文はこれまでのものとは様子が違い、鼓動が高まる。1問目を飛ばし、次の問題を見る。③多くの文字が目に入る。どうした、落ち着け、自分、と念じながら問題文に集中し始めると、心のざわめきが静まっていくのを自覚する。ほぼ全ての問題に解答し、先程飛ばした④1問目の問題に向かう。時間は十分にある。この問題を片付ければ、あとは合格発表の掲示に自分の受験番号を見つけるだけだ。

問1 下線部①について

- (1) 試験監督の咽頭部で形成された空気の振動は、この受験生の外耳道に入ってからどのような経路で伝わっていったのか、以下の語群から適切なものを選び、伝わっていく順序に並べて解答欄にアルファベットで記入せよ。
- (a) うずまき管リンパ液 (b) 基底膜 (c) 鼓膜 (d) 前庭 (e) 耳殻
(f) 耳管 (g) 耳小骨 (h) 聴覚中枢 (i) 聴細胞 (j) 聴神経
(k) 半規管 (l) 平衡石
- (2) 上記語群の中には長い軸索を有する神経細胞の一種が含まれている。その軸索の長さは細胞体の直径の1000倍にもおよび、細胞内で必要とされる物質のやりとりにはモータータンパク質による能動的な輸送が必要となる。
- (i) 軸索内の物質輸送では、微小管の上を移動するモータータンパク質が中心的な役割を果たしている。軸索では微小管が一定の方向性をもって整列しており、一端を細胞体側に+端を神経終末側に向けている。軸索において、細胞体から神経終末への輸送と、神経終末から細胞体への輸送は、それぞれ何というモータータンパク質によって担われていると考えられるか、それぞれのタンパク質の名称を、解答欄の指示された場所に記せ。

興味深いことに、カリブ海側の C1 は同所的に生息する C2 よりもパナマ地峡を隔てた太平洋側の P1 と近縁であり、太平洋側の P2 は同所的に生息する P1 よりもパナマ地峡を隔てたカリブ海側の C2 と近縁である(図 2)。飼育実験を行ったところ、系統間で は行われず、4 つの系統はそれぞれ種として確立していることがわかった。ところで、地質学的研究から、300 万年前までは中米付近のカリブ海と太平洋は現在のように分断されておらず、クレブラ海峽とアトラト海路によってつながっていたことがわかっている(図 3)。

以上のことから、同所的に生息する種同士よりも、異所的に生息する種同士の方が近縁となりえる進化的経緯を、問 2 の異所的種分化の仕組みを参考にして 200 字以内で説明せよ。なお、 には問 1 と同じ語句が入る。

(ii) 以下の現象の中から、微小管によって担われている現象を全て選び、解答欄にアルファベットで記入せよ。

- (a) オオカナダモの細胞質(原形質)流動
- (b) カエルのふくらはぎの筋肉の収縮
- (c) ゾウリムシの繊毛運動
- (d) ヌمامラサキツユクサの減数第二分裂における染色体の両極への移動
- (e) マウスの精子の尾部のべん毛運動

問 2 下線部②について

- (1) この現象は交感神経系の興奮が心臓の自律的な拍動のペースを促進したことによる。心臓において自律的な拍動を司っている部分の名称を記せ。
- (2) 心筋の収縮も骨格筋と同様に、細胞質のカルシウムイオン濃度の上昇により引き起こされる。カルシウムイオンの上昇がどのようにして筋収縮を導くのか、「トロポミオシン」の語を用いて説明せよ。

問 3 下線部③について

- (1) この時のような状況では、通常より多くの視覚刺激が情報となり脳にもたらされているが、それはどのような仕組みによると考えられるか、説明せよ。
- (2) 落ち着くために、姿勢を正して、問題用紙に近づきすぎた目を適度に離れた。この時、ピントを合わせるために水晶体の厚みが変わるが、水晶体の厚みはどのようにしてどう変わったのか、説明せよ。

問 4 下線部④について「1 問目の問題」は、以下のような問題であった。文章を読み、設問に答えよ。

私たちの手足は母体での発生時に決まった場所から伸長してくることが知られており、5本の指も同じように手や足の先端から伸長しているように見える。しかし、実際はそうではない。手足の先端部が扇のような細胞のかたまりとなり、その一部が集まって指をつくり、指間の細胞がアポトーシスと呼ばれる細胞死を起こすことによって5本の指が現れてくるのである。興味深いことに、こうした指間の細胞のアポトーシスが抑制されるものもあり、その結果、コウモリでは飛膜の一部(手膜)が、また、水鳥では水かきなどが形成されている。では、こうした指間の細胞のアポトーシスはどのようにして引き起こされているのだろうか。

- (1) アポトーシスとはどのような細胞死のことか、説明せよ。
- (2) 指間の細胞のアポトーシスがどのように引き起こされているのか解析した結果、BMP と総称される細胞外分泌性タンパク質の関与が想定された。BMP は神経誘導など、発生の過程で重要な役割を果たしているタンパク質である。
 - (i) 神経誘導とはどのような現象か、20 字以内で説明せよ。
 - (ii) 神経誘導はどのような仕組みで起こるか、BMP の働きがわかるように説明せよ。
- (3) さらに解析を進めた結果、BMP の一員である BMP2 タンパク質と BMP7 タンパク質が指間の細胞で産生されていることがわかった。これらタンパク質の役割を明らかにするために、BMP2 タンパク質の遺伝子もしくは BMP7 タンパク質の遺伝子を改変して、それぞれ発生期の指間の細胞においてのみ、その発現が起これないようにしたマウス(これ以降それぞれ BMP2 マウス、BMP7 マウスと呼ぶ)を作製した。さらに、BMP2 マウスと BMP7 マウスをかけ合わせて、BMP2 タンパク質の遺伝子と BMP7 タンパク質の遺伝子の両方が、発生期の指間の細胞においてのみ発現しない

くなり、形態・生理・生態などの特徴が徐々に異なってくる。エ)やがて、障壁が解消され、分断されていた2つの集団が出会ったとしても、a しない。つまり、この2つの集団は c の状態にあり、種 A は種 B と種 C に種分化したと考えられる。

問 3 下線部①について、海や山などの障壁によって集団が2つに分断されることを何と呼ぶか答えよ。

問 4 中米のパナマ地峡周辺の海域に生息するテッポウエビ属は、DNA の塩基配列に基づいて4つの系統(C1, C2, P1, P2)に分類できる。C1 と C2 はパナマ地峡のカリブ海側に生息し、P1 と P2 は太平洋側に生息している(図1)。

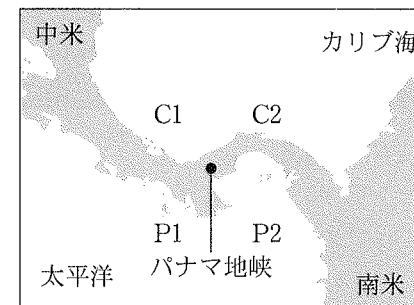


図1. パナマ地峡周辺の海域に生息するテッポウエビ属4系統の分布図
Zimmer & Emlen (2013). Evolution: making sense of life より作製。

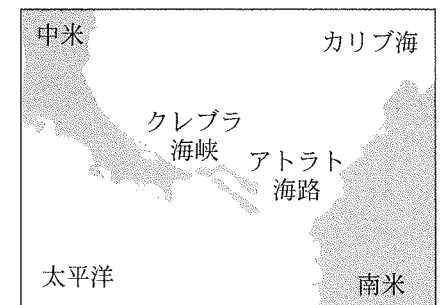


図3. 300 万年前の中米付近の地図
図1 と同一の出典より作製。

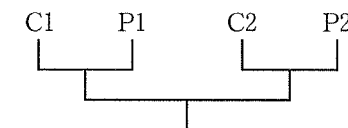


図2. テッポウエビ属4系統の系統樹
Knowlton et al. (1993). Science 260: 1629-1632 より作製。

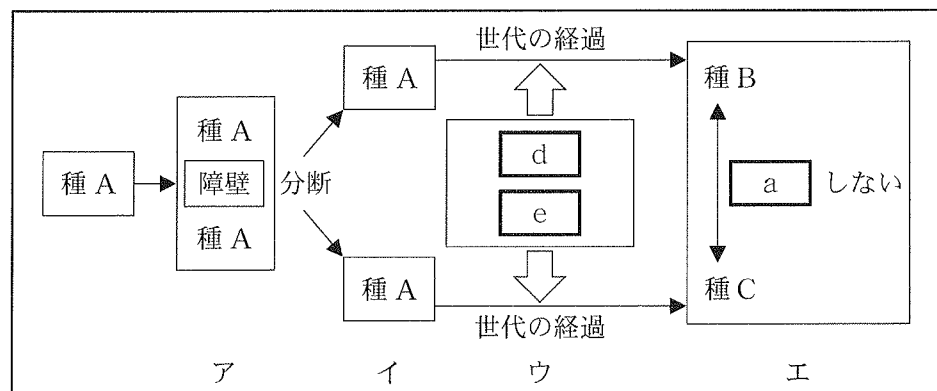
〔選択問題〕

〔5〕 次の文章を読み、以下の問い(問1～4)に答えよ。

生物はそれぞれ種という基本単位で分類されている。種とは、形態・生理・生態などにおいて共通の特徴をもつ個体の集団であると同時に、個体同士が によって 能力をもつ子孫を残すことができる集団でもある。従って、何らかの原因によって を行うことができないか、あるいはそれができたとしても、 能力をもつ子孫が残せない個体同士は異なる種に属しているといえよう。集団間で子孫が残せない場合、これらの集団は の状態にあると呼ばれる。

問1 文章中の ～ に適切な語句を記入せよ。

問2 ある生物種から新たな種が誕生することを種分化という。下の模式図は異所的種分化の仕組み(ア～エ)を表している。これを参考にして、図の下の文章中の ～ に適切な語句を記入せよ。なお、 と に入る語句の順番は問わない。また、 と には、問1と同じ語句が入る。



ア) 種 A の生息地に海や山などの障壁ができる。イ) 障壁によって種 A が 2つの集団に分断される。ウ) 各集団で突然変異が起こり、 や によって、集団間の 的な差異が世代を経るごとに大き

マウスも作製した(これ以降 BMP2/7 マウスと呼ぶ)。こうして作製した BMP2 マウス・BMP7 マウス・BMP2/7 マウスについて、それぞれの指間の組織がどの程度消失しているかを、野生型を 100 % として計測したところ、図1のようになった。

(i) 以下はこの実験結果を説明する文章の一部である。空欄に入れるべき語句を下記の「」内の語群から選んで解答欄に記せ。

指間の細胞で BMP2 タンパク質が産生されないと指間の組織は消失 なる。また、指間の細胞で BMP7 タンパク質が産生されないと消失 なる。したがって、指間の細胞のアポトーシスには指間の細胞における BMP2 の発現が であること、また、BMP7 の発現が であることが想定される。
「しにくく しやすく 必要 不要」

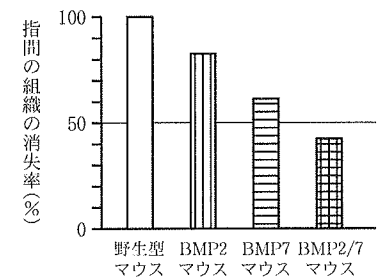


図1

(ii) BMP2 タンパク質と BMP7 タンパク質は双方とも細胞膜の BMPRI という受容体タンパク質に結合することによって機能することが知られている。BMPRI タンパク質の遺伝子を BMP2 マウスや BMP7 マウスと同様に発生期の指間の細胞においてのみ発現しないよう改変したマウス(これ以降 BMPRI マウスと呼ぶ)を作製した場合、BMPRI マウスの指間組織の消失率は野生型を 100 % とした時、何 % 程度になると想定されるか、以下の数値から選んで解答欄にアルファベットで記せ。また、選んだ理由も解答欄に記すこと。
(a) 0 % (b) 20 % (c) 40 % (d) 60 % (e) 80 % (f) 100 %

(iii) BMP2 マウスと BMPR1 マウスをかけあわせて、BMP2 と BMPR1 の両方もが、発生期の指間の細胞においてのみ発現しないマウスも作製した(これ以降 BMP2/BMPR1 マウスと呼ぶ)。BMP2/BMPR1 マウスの指間組織の消失率は野生型を 100%とした時、何 % 程度になると想定されるか、以下の数値から選んで解答欄にアルファベットで記せ。また、選んだ理由も解答欄に記すこと。

(a) 0% (b) 20% (c) 40% (d) 60% (e) 80% (f) 100%

(iv) この解析においては、BMPR1 遺伝子などが発生期の指間の細胞においてのみ発現しないマウスを作製して用いている。こうしたマウスの作製には工夫が必要であり、必要な遺伝子改変には労力と時間を要する。これに対して、BMPR1 遺伝子などをゲノムから取り除いたマウスは、これよりも容易に作製することができる。この解析において、わざわざ先に説明したような工夫を加えたマウスを用意した理由としてどのようなことが考えられるか、記せ。

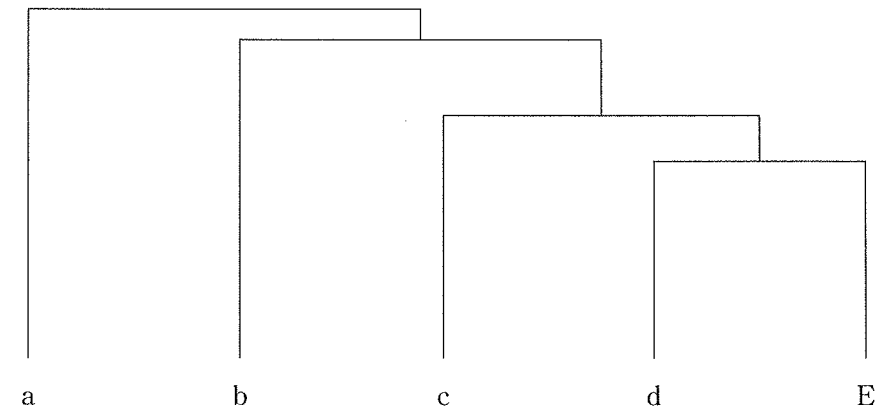


図3. 5 個体の動物の腸内細菌叢の類似度

問 3 下線部③のうち、植物の系統分類の際は、ルビスコの特定のゲノム領域を読み取る。以下のルビスコに関する文章の ～ に適切な語句を入れ、文章を完成させよ。

葉緑体の の部分では、 で作られた ATP と NADPH を用いて、二酸化炭素を して有機物を合成する反応が起こる。まず、二酸化炭素は から取り込まれ、ルビスコという の働きによって、 と結合する。さらに、それが2分子の になる。

問 4 下線部④の電気泳動により、調べたい DNA 断片の塩基対数(bp)を推定する方法を説明せよ。

問 5 下線部⑤について、個体間の腸内細菌叢の類似度を推定する際には、腸内細菌の違いをもとに系統樹と同様な図を作成することがある。表1には5個体の動物 A, B, C, D, E について、腸内細菌の検出の有無(腸内細菌が確認された場合を1, 確認されない場合を0)を示した。このデータから最節約法により作成された図3の a～d に入る動物を推定せよ。

試験問題は次に続く。

表1. 5個体の動物の腸内細菌の違い

動物	腸内細菌 No.											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1
B	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
C	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1
D	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1
E	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

〔2〕 次の文章を読み、以下の問い(問1～5)に答えよ。

原始地球には生物の構成材料となる有機物が存在せず、生命誕生のためにはまず有機物の生成が必要であった。地球上における最初の有機物生成の場には諸説あるが、現在では海底の熱水噴出孔のような場所で生成したとする説が注目されている。豊富な原料が存在し、かつ高温高压の環境下で無機物からアミノ酸や単糖などの低分子有機物が合成され、蓄積した有機物同士が結合することでタンパク質や多糖などの生物を構成する複雑な有機物が生成していったと考えられている。このような生命誕生以前の有機物の生成過程を という。

生物の特徴として、代謝機能、膜により外界と隔てられた細胞構造および自己複製能を有することが挙げられる。現生の生物は主としてリン脂質とタンパク質からなる細胞膜を有し、その生命活動にはタンパク質、RNA、DNAが必須である。一方で、地球最初の生命は単純な構成であったと考えられているが、その起源および形態は現在でも明らかになっていない。

初期の生物には、外界から取り入れた有機物を利用した発酵によってエネルギーを得る 栄養生物と、細胞内で無機物から有機物を合成する 栄養生物があり、 栄養生物ははじめ無機物を酸化することで得られるエネルギーを利用する化学合成細菌が、次いで光エネルギーを利用した有機物合成を行う光合成細菌が順に誕生したと考えられる。

問1 文章中の ～ に適切な語句を記入せよ。

問2 下線部②について、ある研究グループが糞便中のDNAを用いたアンプリコンシーケンス解析による肉食動物の食性解析を行った。その事例を以下に記す(図2)。

ある研究グループは、肉食動物であるライオンの食性を研究している。脊椎動物(ライオンの捕食対象を含む)の系統分類用のゲノム領域を用いて食性解析を行ったところAのような結果が得られた。しかしながら、研究グループは、aのデータを除いたBを食性解析結果として採用した。

ある研究グループがBの結果を採用した理由として考えられることを記せ。

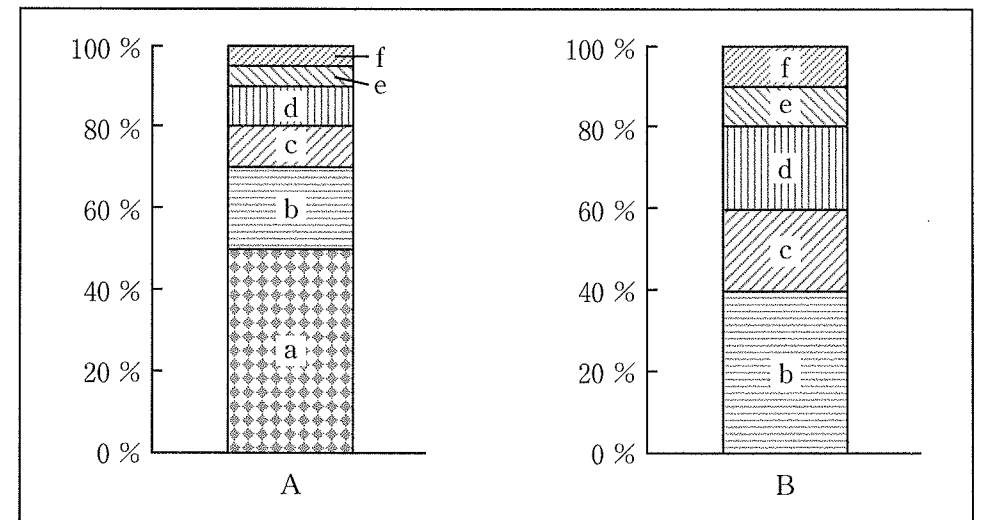


図2. 糞便中DNAから検出された脊椎動物の種(a～f)の出現頻度

〔選択問題〕

〔4〕 次の文章を読み、以下の問い(問1～5)に答えよ。

次世代シーケンサーの登場により、PCR(ポリメラーゼ連鎖反応)法により増幅させた特定のゲノム領域を短時間で読み取る解析であるアンプリコンシーケンス解析が可能となった。以下にアンプリコンシーケンス解析として野生生物の食性解析や腸内細菌叢^②解析の手法を記す。

動物の糞便などからDNAを抽出し、植物や動物、細菌の系統分類に用いられるゲノム領域をPCR法により増幅させた後、電気泳動により目的遺伝子の増幅を確認する。その後、次世代シーケンサーで塩基配列を決定し、データベースをもとに塩基配列から糞便由来のDNAに含まれる植物や動物、細菌の種類を分類し、糞便に含まれる植物や動物、細菌の割合や個体間の腸内細菌叢^⑤の類似度を推定することなどが可能となる。

〔語句説明〕

* 腸内細菌叢^⑤：動物の腸内で一定のバランスを保ちながら共存している多種多様な腸内細菌の集まり。

問1 下線部①のPCR法は図1のように反応1～3を繰り返すことで目的とするDNAを多量に増幅することができる。それぞれの反応ではどのような事が起こるかを以下の語句を用いて説明せよ。

(2本鎖 プライマー 鋳型DNA 耐熱性DNAポリメラーゼ)

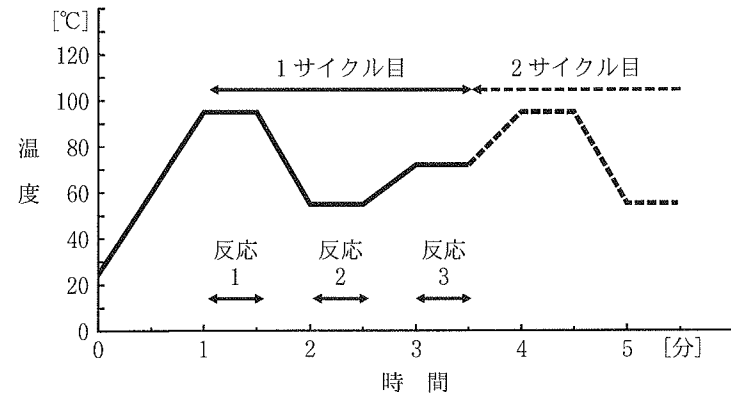


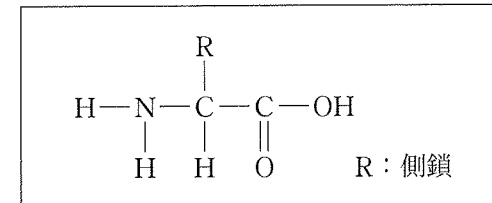
図1. PCR法における反応液の温度変化

問2 下線部①に関して、1950年代のはじめにミラーらによってなされた有機物の非生物的合成実験に関して、次の選択肢のなかから正しいものを選び。

- (a) 想定された原始地球の大気を模して、メタン、アンモニア、水素、水蒸気からなる混合気体を用いて行われた。
- (b) 想定された原始地球の大気を模して、二酸化炭素、窒素、水蒸気からなる混合気体を用いて行われた。
- (c) 想定された熱水噴出孔周辺環境を模して、メタン、アンモニア、水素、硫化水素を豊富に含む溶液を用いて行われた。

問3 下線部②に関して、以下の(1)～(4)に答えよ。

- (1) タンパク質は多数のアミノ酸が鎖状に結合したポリペプチドからなる。アミノ酸間で形成される結合の名称を記し、その結合を、タンパク質を構成するアミノ酸のうち2種類を用いて図示せよ。また、用いたアミノ酸の名称を記せ。アミノ酸の構造は以下の例にならって図示すること。



- (2) タンパク質の一次構造、二次構造および三次構造について説明せよ。

(3) タンパク質は、分子内または分子間において、酸化的に形成されるジスルフィド結合のような共有結合および水素結合のような非共有結合性の相互作用により複雑な立体構造が形作られることで機能を発揮し、変性してその(複合体)構造が崩壊することで機能を喪失する。

タンパク質 X を用いた次の(a)~(c)の実験結果から、タンパク質 X はどのようなポリペプチドによってどのように構成されていると考えられるか、記せ。

(a) 非還元条件下における native-PAGE*¹ による解析の結果、タンパク質 X の分子量は 150,000 であると算出された。

(b) 非還元条件下における SDS-PAGE*² による解析の結果、分子量 80,000 および 35,000 と推定される 2 種類のポリペプチドが検出された。

(c) 還元条件下における SDS-PAGE による解析の結果、分子量 60,000, 35,000 および 20,000 と推定される 3 種類のポリペプチドが検出された。

[語句説明]

*¹ native-PAGE：非変性条件下における電気泳動によりタンパク質を分子量に応じて分離する方法。

*² SDS-PAGE：非共有結合性の構造を変性させた条件下における電気泳動によりタンパク質を分子量に応じて分離する方法。

問 2 下線部①の ATP は生物のさまざまな反応にエネルギーを提供している。このように ATP がエネルギーを提供できるのは、その構造中にある結合にエネルギーが蓄えられているからである。この結合の名称を記せ。

問 3 下線部②に関して、細胞内に取り込まれたグルコースは、まずリン酸化を受けるが、その意義について述べよ。

問 4 下線部③のクエン酸回路に存在するコハク酸からフマル酸への変換を触媒する酵素は、化学構造がコハク酸と似ているマロン酸が共存することによりその反応が妨げられることが知られている。このような現象の名称を記せ。また、このような現象のメカニズムについて 100 字以内で説明せよ。

問 5 酸素が存在しない条件下で行われる解糖や発酵において、乳酸やエタノールを生成する意義について述べよ。

問 6 下線部④の酵母は、酸素が存在しない条件下ではアルコール発酵を行うが、酸素が存在する条件下においては呼吸とアルコール発酵を行うという特徴をもつ。そこで、酸素存在下のある条件において酵母の培養実験を行ったところ、32 mg の酸素が吸収され、80 mg の二酸化炭素を発生したという結果が得られた。この実験に関する以下の問いに答えよ。ただし、原子量は C = 12, H = 1, O = 16 とし、答えは小数点以下第一位を四捨五入して記入せよ。

- (1) 酵母の呼吸により使用されたグルコース量(mg)を求めよ。
- (2) 酵母のアルコール発酵により発生した二酸化炭素量(mg)を求めよ。
- (3) 酵母のアルコール発酵により使用されたグルコース量(mg)を求めよ。

〔3〕 次の文章を読み、以下の問い(問1～6)に答えよ。

我々は、グルコースなどの糖や脂肪などの有機物を分解して得られるエネルギーをATPに蓄積し、さまざまな生命活動のエネルギー源として使用している。^①たとえば、グルコースが細胞内に取り込まれた場合、細胞質基質に存在する解糖系で、まずATPからエネルギーを得てリン酸化を受け、代謝され2分子の (解糖系ではじめてできる炭素数3の化合物)が生じる。その後、 は脱水素酵素の働きで を生成するとともに、いくつかの酵素反応を受けてピルビン酸へと代謝される。ピルビン酸は、酸素が存在する条件下においては、ミトコンドリアのマトリックスに存在するクエン酸回路^②へと進み、グルコース1分子からこの回路までで、合計 分子の と 分子の が生成される。生成したこれらの や は、同じくミトコンドリアの内膜に存在する電子伝達系において、ATPの生産に使用される。一方、筋肉では、激しい運動をする場合、酸素を十分に得られない状況下でATPを生産しつづける必要がある。このとき、グルコースから生成したピルビン酸は脱水素酵素の働きにより、乳酸に変換される(解糖)。

また、微生物の中には、酸素が存在しない条件下においても、ATPを生産する代謝系を持つものが存在する。たとえば、乳酸菌では、ピルビン酸は脱水素酵素の働きにより、乳酸へと変換される(乳酸発酵)。そして、^④酵母では、解糖系で生成したピルビン酸は の働きにより、 と二酸化炭素に変換され、 は脱水素酵素の働きにより、エタノールへと変換される(アルコール発酵)。

問1 文中の ～ に適切な語句または数字を記入せよ。

(4) 糖A～Fのいずれかを含む6種類の溶液があり、糖Cはガラクトースであるが、その他はそれぞれグルコース、フルクトース、スクロース、ラクトースまたはマルトースのいずれかである。次の(a)～(c)の結果から、Cを除く糖A～Fの種類を判定せよ。

- (a) グルコースバイオセンサー^{*1}を用いて各溶液中のグルコースを検出した結果、Aの糖溶液においてのみグルコースの存在が確認された。
- (b) 酸加水分解処理を行った溶液中のグルコースを、グルコースバイオセンサーを用いて検出した結果、A、D、EおよびFの糖溶液においてグルコースの存在が確認された。
- (c) 薄層クロマトグラフィー^{*2}を用いた解析の結果、酸加水分解処理を行ったDの糖溶液ではAおよびBの糖溶液と、酸加水分解処理を行ったEの糖溶液ではAおよびCの糖溶液と、酸加水分解処理を行ったFの糖溶液ではAの糖溶液と、それぞれ同じ展開距離の糖(スポット)が検出された。

〔語句説明〕

^{*1} グルコースバイオセンサー：グルコース酸化酵素を用いたバイオセンサーであり、グルコースの検出・定量に利用される。

^{*2} 薄層クロマトグラフィー：ガラス板などの支持体表面にシリカゲルなどの担体を塗布した薄層板を用いた物質の分析方法であり、薄層板上の試料物質の移動(展開)距離による試料物質の判定などに利用される。

問4 下線部③に関して、最初の生命およびその後の進化に関する仮説としてワールド仮説がある。「DNAワールド」および「RNAワールド」について、以下の語句をすべて用いて説明せよ。(DNA, RNA, タンパク質, 遺伝情報, 触媒)

問 5 下線部④に関して、次の文章を読み、以下の(1)・(2)に答えよ。

緑色硫黄細菌や紅色硫黄細菌はバクテリオクロフィルという光合成色素を有しており、硫化水素などを利用した光合成を行う光合成細菌である。シアノバクテリアは植物と同様に光合成色素として を有し、水を分解する 発生型の光合成を地球上で最初に行った原核生物であると考えられている。

- (1) 文中の および に適切な語句を記入せよ。
- (2) 発生型の光合成生物であることに着目して、シアノバクテリアの出現がその後の生物進化に与えたと考えられる影響を、以下の語句をすべて用いて説明せよ。(好気性原核生物, 嫌気性原核生物, 呼吸, 発酵)

試験問題は次に続く。