

〔物理基礎・物理〕〔化学基礎・化学〕〔生物基礎・生物〕

(時間：2出題科目で120分)

注 意 事 項

- 1 試験開始の合図があるまで、この問題冊子の中を見てはいけません。
- 2 出題科目、ページ及び選択方法は、下表のとおりです。

出 題 科 目	ページ	選 択 方 法
〔物理基礎・物理〕	1～3	左の3出題科目のうちから、あらかじめ届け出た2出題科目について解答しなさい。
〔化学基礎・化学〕	4～6	
〔生物基礎・生物〕	7～9	

- 3 試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁および解答用紙の汚れ等に気付いた場合は、手を挙げて監督者に知らせなさい。
- 4 解答は、すべて解答用紙の所定の欄に記入しなさい。
- 5 問題冊子の余白は計算等に用いて構いません。
- 6 試験終了後、解答用紙のみを回収します。

生物基礎・生物

[1] ヒト赤血球に関する次の文章を読み、下の問い(問1～3)に答えよ。

ヒト赤血球は通常の細胞と異なり、細胞小器官を持たず、細胞内のタンパク質のほとんどは酸素を運ぶための **ア** である。ヒト赤血球はミトコンドリアを持たないために、細胞外からグルコースを取り入れ、解糖系によって細胞活動に必要なエネルギーを得ている。グルコースは細胞膜に存在する **イ** を通って細胞内に流入する。この流入は、細胞外のグルコース濃度が細胞内より高いときに起こり、このような輸送を **ウ** と呼ぶ。一方、二糖類のスクロースやマルトースは膜を通過することができない。赤血球を体外で正常な状態に保つ技術は、外傷や病気の治療として行われる輸血の際に非常に大切である。例えば、赤血球を0.9%食塩水に入れると正常な形を保つことが知られており、これを生理食塩水と呼び、見かけ上、水の出入りのない **エ** 液であるという。赤血球は、細胞外液の濃度が変わると細胞の体積が変化する。一般に濃度の異なる二つの溶液が **オ** 膜を介して接したとき、濃度の低い溶液から濃度の高い溶液に水分子が移動する。ここで濃度が高い溶液が水を引き込む力のことを **カ** と呼ぶ。**カ** は本来、圧力の単位で表現されるが、医学分野では、一定量の溶液に存在する溶質(分子あるいはイオン)の物質質量で表され、これをオスモル濃度 Osm/L という単位で表現する。例えば、1 mmol/L (1×10^{-3} mol/L) のスクロース溶液のオスモル濃度は 1 mOsm/L (1×10^{-3} Osm/L) であるのに対し、1 mmol/L の食塩水の場合、NaCl が水に溶けると、 Na^+ と Cl^- にほぼ完全に電離してそれぞれ独立したイオンとなるので、オスモル濃度は約 2 mOsm/L となる。

問1 文中の **ア** ～ **カ** に適切な語句を記せ。

問2 0.9%食塩水のオスモル濃度に最も近いものを次の1～5から選べ。ただし、NaClは完全に電離すると仮定し、分子量は58.5とする。

1. 100 mOsm/L 2. 200 mOsm/L 3. 300 mOsm/L 4. 400 mOsm/L 5. 500 mOsm/L

問3 ヒト赤血球の細胞体積と溶質の関係について、実験1～3を行った結果を図1、2に示す。

実験1 赤血球を含む生理食塩水に、矢印の時点で、ある量の蒸留水を加えると、細胞体積は図1グラフAのように変化し、10分後には一定の値となった。なお、横軸は矢印の時点からの経過時間(分)、縦軸はヒト赤血球の細胞体積について正常赤血球を1とした場合の比率で表している。また、赤血球体積に比べて細胞外液の量は十分に大きいものとする。

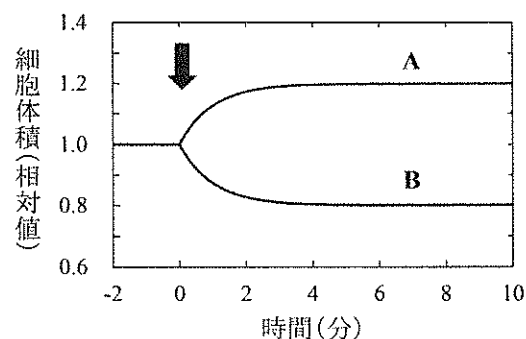


図1

(1) 10分後の細胞外の食塩水のオスモル濃度(mOsm/L)を有効数字2桁で求めよ。計算過程を示すこと。ただし、加えた蒸留水は直ちに溶液中に均等に拡散するものとする。

実験2 実験1と同様に、赤血球を含む生理食塩水に、矢印の時点で、濃いスクロース溶液を少量加えたところ、図1グラフBのように細胞体積は変化し、10分後には一定の値となった。

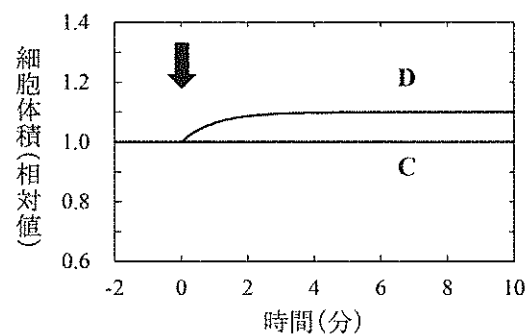


図2

(2) 10分後の細胞外の食塩水の溶液に含まれるスクロースのオスモル濃度(mOsm/L)を有効数字2桁で求めよ。計算過程を示すこと。ただし、加えたスクロースは直ちに溶液中に均等に拡散し、溶液の体積の変化は無視できるとする。

実験3 0.9%食塩水と同じオスモル濃度に調整したスクロースおよびグルコース溶液を用意し、生理食塩水に置かれていたヒト赤血球を、それぞれの溶液へ急速に置換した。図2のグラフにおいて、矢印の時点で、細胞外液をスクロースまたはグルコース溶液に置換した。その結果、スクロースに置換した実験では、グラフCが得られ、グルコースに置換した実験では、グラフDが得られた。なお、赤血球の細胞外液は速やかに両溶液と置き換わるものとする。

(3) 細胞外液をスクロースに置換したとき、グラフCの結果が得られた理由を説明せよ。

(4) 細胞外液をグルコースに置換したとき、グラフDの結果が得られた理由を説明せよ。

[2] 次の文章を読み、下の問い(問1～5)に答えよ。

食事に含まれるタンパク質は、胃の消化酵素 **ア** によってペプチドへと分解されたのち、さらに膵臓、小腸の消化酵素によってアミノ酸にまで分解され、吸収される。吸収されたアミノ酸の一部は、アミノ基が取り除かれて有機酸と **イ** となる。毒性の強い **イ** は血液によって肝臓に運ばれ、毒性の弱い **ウ** となる。生じた **ウ** は血液によって腎臓に運ばれ、尿の成分として体外に排出される。

ヒトのオルニチントランスカルバミラーゼ(OTC)は、**ウ** 回路において、オルニチンとカルバモイルリン酸から **エ** を合成する酵素である。遺伝子の突然変異により、OTCの機能が低下すると、血液中に **イ** が蓄積し、**ウ** 回路異常症となる。 図1には、OTCの機能が低下した患者とその家系図を示す。この家族の各人(1～7)の血液からDNAを採取し、同一の濃度に調整した後、PCR法を用いてOTC遺伝子の一部を増幅した。次に、制限酵素を用いてPCR産物を切断して、電気泳動を行った(図2)。その結果、制限酵素処理によって切断されないバンド1と切断されて短くなったバンド2とバンド3が現れた。 なお、一つのバンドには単一のDNA断片が対応している。また、家族の各々の血液からOTC遺伝子のmRNA配列を決定し、その一部を図3に示す。

問1 文中の **ア** ～ **エ** に適切な語句を記せ。

問2 下線部①について、以下の問いに答えよ。なお、この疾患はOTC遺伝子のみによるものであり、優性と劣性のOTC遺伝子をそれぞれ B, b とする。

- 図1と図2の結果から、この疾患はどのような遺伝形式の病気なのか答えよ(解答例：遺伝子は常染色体上にあり、優性遺伝をする)。
- 女性4と男性7の遺伝子型をそれぞれ答えよ。ただし、常染色体をA、性染色体をXおよびYで示すこと(解答例： $A^B A^b + XY, AA + X^B Y^b$)。
- 男性3と女性4の間に新たに子供ができる場合、この病気を発症する可能性について説明せよ。

問3 下線部②に関する調査の結果、ある集団では突然変異を有するOTC遺伝子の頻度が $\frac{1}{90,000}$ であるとわかった。この集団における患者数、および保因者数について、人口100万人(男性・女性50万人ずつ)あたり何人と予想されるか、有効数字3桁で求めよ。なお、この集団ではハーディ・ワインベルクの法則が成り立つと仮定し、計算過程も示すこと。

問4 下線部③について、図2の女性4は、なぜ制限酵素によって切断されないバンド1と切断されたバンド2およびバンド3が生じるのか、図3の女性2と男性7の配列に基づいて説明せよ。ここで、男性7はOTC遺伝子に突然変異が生じている(図3下線)。なお、用いた制限酵素MacIIIは二本鎖DNAの5'-GTNAC-3'(NはAGCTいずれか)のGの5'側を切断する。

問5 下線部④について、以下の問いに答えよ。

- 男性7のOTCのアミノ酸にはどのような変化が生じたか、図4のコドン表をもとにして答えよ(解答例：アラニン→グルタミン酸)。ただし、翻訳は塩基配列の左端から進行する。
- この家系とは無関係な男性患者Xの変異について、塩基配列を調べたところ、欠失が見つかった(図3二重下線)。その結果、翻訳されてできるOTCにはどのような変化が生じていると考えられるか。

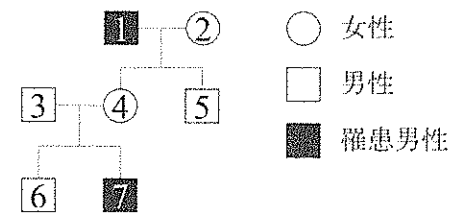


図1 家系図

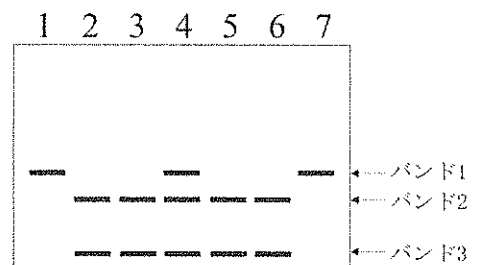


図2 電気泳動の結果

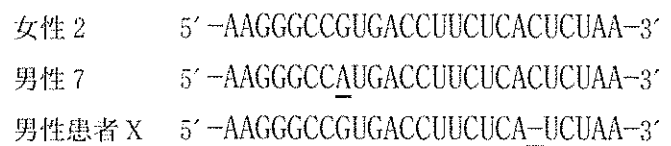


図3 OTC遺伝子のmRNA塩基配列の一部

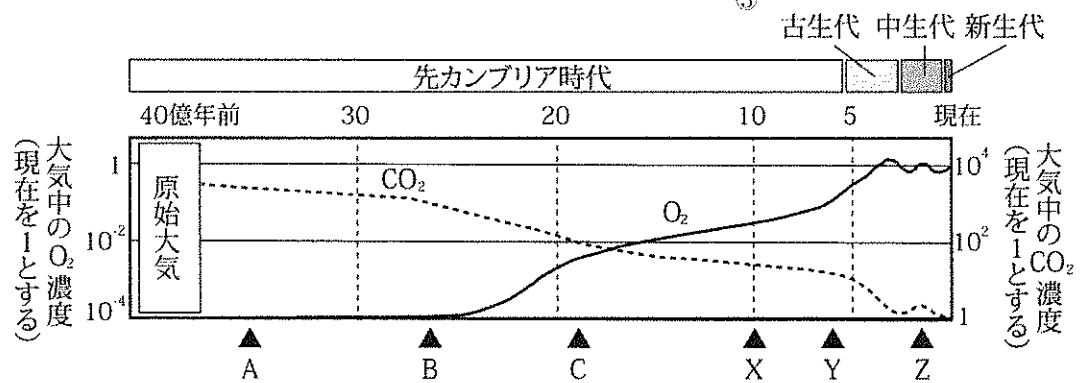
1番目の塩基	2番目の塩基				3番目の塩基
	U	C	A	G	
U	フェニルアラニン	セリン	チロシン	システイン	U
			(終止)	(終止)	A
	ロイシン		(終止)	トリプトファン	G
C	ロイシン	プロリン	ヒスチジン	アルギニン	U
			グルタミン		A
A	イソロイシン	トレオニン	アスパラギン	セリン	U
			メチオニン	リシン	アルギニン
	バリン		アラニン	アスパラギン酸	グリシン
G	バリン	アラニン	グルタミン酸	グリシン	C
			U	A	G

図4 コドン表

[3] 生物の進化に関する次の文章を読み、下の問い(問1～7)に答えよ。

約46億年前に地球が誕生した際、地表はマグマの海に覆われ、大気には大量の二酸化炭素や **ア** が含まれていたと考えられている。その後地表温度が下がると、40億年前には **ア** から原始海洋が形成された。この頃の原始大気の主成分は二酸化炭素と **イ** であった。やがて二酸化炭素が海に溶け込むと、その一部は炭酸カルシウムとして海底に蓄積し、大気中の二酸化炭素濃度は次第に減少した。約35億年前には最古の生物が地球上に誕生し(図中▲A)、およそ27億年前には **ウ** が海中に繁栄した(図中▲B)。 **ウ** は二酸化炭素と水から有機物を合成して大気中に酸素を放出した。その結果、二酸化炭素はさらに減少し、酸素は海洋中の **エ** を酸化して、大量の酸化 **エ** を海底に沈殿させた。当時の生物にとって酸素は有毒であり、多くの生物は絶滅したり、嫌気的な環境に追いやられた。その後、酸素に対する抵抗性を獲得した生物が現れ、酸素を利用して大量のエネルギーを得ることが出来るように進化した。このようにして約19億年前には真核生物が誕生し(図中▲C)、やがて多細胞生物が出現した。温室効果ガスである二酸化炭素の減少は **オ** のような大規模な気候変動を引き起こしたが、その後、温暖化が進むと生物は爆発的に多様性を増大させた。大気中の酸素の増大は、生物の陸上への進出を可能にした。

陸上で植物による活発な光合成が行われた結果、酸素濃度はさらに増大した。現在の大気の組成は、このような生物の働きによって形成されたと考えられている。



問1 文中の **ア** ~ **オ** に適切な語句を記せ。

問2 下線部①について、地球上に最初の生物が生じる前段階として、RNAワールドが存在したという仮説がある。次の科学的事実のうち、RNAワールドを支持する事実として適当なのはどれか、次の1～5から2つ選べ。

1. DNAはRNAよりも安定な物質である
2. RNAよりもタンパク質の方が多様な立体構造を形成できる
3. ある種のRNAは触媒作用を持つ
4. DNAを遺伝情報として持つウイルスが存在する
5. 逆転写酵素を有するウイルスが存在する

問3 下線部②について、**ウ** が誕生する前には、酸素を発生しない光合成を行う細菌が存在したと考えられている。現在も地上に存在する酸素非発生型の光合成細菌を挙げ、その細菌の有する光合成色素を1つ答えよ。

問4 下線部③について、酸素分子は生体内で還元されると様々な活性酸素種(H₂O₂など)に変化し、細胞に損傷を与えることが知られている。ヒトが有する、活性酸素種を除去する仕組みのうち、酵素による防御反応について、酵素名を1つ上げ、その化学反応式を答えよ。

問5 下線部④について、酸素を用いずにATPを合成する代謝経路である解糖系と、酸素を用いる呼吸を比較した次の表に関する以下の問いに答えよ。

反応系	化学反応式	生成されるATP
解糖系	$C_6H_{12}O_6 + 2 NAD^+ \longrightarrow$ a $+ 2 NADH + 2 H^+$	(d)分子
呼吸全体	$C_6H_{12}O_6 +$ b $+ 6 O_2 \longrightarrow$ c $+ 12 H_2O$	最大(e)分子

(1) 表のa～eに適切な語句あるいは数値を記せ。

(2) 日本人は一日あたり平均300gの糖質を摂取している。この糖質をグルコースとし、すべて呼吸で代謝されると仮定すると、何回の呼吸が必要になるか、有効数字3桁で求めよ。計算過程も示すこと。なお、安静時には1分間に15回呼吸を行い、250mLの酸素を肺で取り込める。またグルコースの分子量は180、酸素1モルの体積は22.4Lとする。

問6 下線部⑤について、大気中の酸素の増大により、なぜ生物は陸上へ進出できたのか、その理由を簡潔に説明せよ。

問7 図中のX、Y、Zの時期に発生した出来事や生物として適当なものを次の1～8からそれぞれ1つずつ選べ。

1. エディアカラ生物群
2. バージェス動物群
3. アンモナイトの繁栄
4. 三葉虫の繁栄
5. 哺乳類の繁栄
6. シダ植物の繁栄
7. クックソニアの出現
8. 多細胞生物の出現