

### 作問意図

2024年度の試験問題作成に当たり、基礎的な生物学的知識に加え、読解力・論理的思考力・説明力等が問える問題になるように留意した。[1]では、生物の集団遺伝や免疫に関する知識と理解度を、[2]では、生命活動に必要なエネルギー獲得機構に関する基本的知識と実験データを正しく理解する能力を、そして[3]では、生命の起源と生物の変遷、そして人類の進化について正しく理解し的確に説明する能力を備えているかを問うた。また、全ての設問において、問題中に示された内容や実験データを正しく解釈する能力や応用力を問うことも試みた。

[1] 血液型を題材とし、生物の集団遺伝や免疫に関して基本的な理解ができているのか様々な視点から問う問題である。

問1：ハーディ・ワインベルグの法則を理解しているかを問うた。

問2：遺伝子変異がタンパク質の機能に及ぼす影響を理解しているかを問うた。

問3：抗原の提示について理解しているかを問うた。

問4：免疫寛容について理解しているかを問うた。

問5：抗原抗体反応に関わる現象を論理的に考察する能力があるかを問うた。

問6：自己と非自己が免疫によって識別されるしくみを理解し、論理的な考察に応用できるかを問うた。

[2] 生命活動に必要なエネルギーATPを細胞はどのようにして獲得しているのかについての基礎的な知識と理解力を問う問題である。

問1：呼吸に関する基礎的な知識を問うた。

問2：ATPに関する基礎的な知識を問うた。

問3：アルコール発酵に関する基礎的な知識を問うた。

問4：呼吸基質に関する基礎的な知識を問うた。

問5：実験データの解釈を通じて、クエン酸回路や電子伝達系に関する基本原理の理解度を問うた。

問6：電子伝達系におけるATPの生産についての知識と理解を問うた。

[3] 生命の起源と生物の変遷、そして人類の進化について、正しく理解し的確に説明する能力を備えているかを問う問題である。(1)では、生物がどのように地球に誕生し、現在までにどのような変遷を辿って来たかに関して、(2)では、2022年にノーベル生理学・医学賞を受賞したスバンテ・ペーボ博士の古代DNA解析研究の結果も含め、近年新発見が著しい人類の進化に関する理解度を問う問題である。

問1：生命の誕生に関する基礎知識を問うた。

問2：生物の変遷のタイムスケールを把握しているかを問うた。

問3：現在の地球温暖化問題でも重要視されるオゾン層の役割について、正しい知識を有しているかを問うた。

問4：生物が互いに影響を及ぼし合いながら進化する共進化を正しく理解し，被子植物と昆虫の共進化について簡潔に説明できるかを問うた。

問5：化石の発見から推察される人類の進化に関する基礎知識を問うた。

問6：人類の特徴でもある直立二足歩行を可能とした骨の特徴について問うた。

問7：類人猿と異なる人類の特徴を正しく理解しているかについて問うた。

問8：人類の進化と共に大きくなってきた脳容積を，頭蓋骨から算定する方法について，応用力も含め問うた。

問9：生物の変遷に関して多くの情報が得られる化石の年代を推定する方法について，正しい知識を有しているかを問うた。

問10：生物の進化研究で有効なツールとなっているミトコンドリアDNAと，核DNAの違いを正しく理解しているかを問うた。

問11：ゲノムの塩基配列の解読などで利用されているサンガー法(ジデオキシ法)の原理を正しく理解しているかを問うた。

問12：自分の持つ知識を総動員し，ネアンデルタール人由来のゲノムが現代人のゲノムに残っている理由を推測する応用力を問うた。

## 解答例

1

問 1

A,B,Oの遺伝子頻度をそれぞれ  $p,q,r$  とすると、 $p+q+r=1$ 。

また、ハーディ・ワインベルグの法則が成り立つので、 $p^2+2pr=0.28$  かつ  $r^2=0.36$  となる。

上記の方程式を解くと、 $p=0.2$ ,  $q=0.2$ ,  $r=0.6$  となる。

以上より、A,B,Oの遺伝子頻度は、それぞれ 0.20, 0.20, 0.60 となる。

求めた遺伝子頻度から、B型の割合は  $q^2+2qr=0.28$  と計算できる。よって、B型の割合は、28%。

またAB型の割合は、 $2pq=0.08$  と計算できる。よって、AB型の割合は、8.0%。

問 2

1塩基欠損によりフレームシフトがおこり、途中から酵素 A とは異なるアミノ配列が翻訳され、糖鎖を付加できなくなった。

問 3

マクロファージ, 樹状細胞, B細胞

問 4

自己成分であるH型糖鎖に対して免疫寛容が成立するため。

問 5

ボンベイ型のヒトの赤血球を凝集させる血しょうの血液型

=どれも無い

ボンベイ型のヒトの血しょうを加えると凝集する赤血球の血液型

=A型, B型, AB型, O型

問 6

赤血球表面にはMHC抗原が存在していないため、TCRを介してT細胞に非自己と認識されず、攻撃されないため。

2

問 1

ア:細胞質基質, イ:ピルビン, ウ:マトリックス, エ:還元, オ:酸化

問 2

ATPはアデニンという塩基とリボースという糖が結合したアデノシンに3個のリン酸が結合した物質である。このリン酸同士の結合は高エネルギーリン酸結合と呼ばれ、加水分解の際に他のリン酸結合より大量のエネルギーを放出する。

問 3

アルコール発酵を行っている,  $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_6O + 2CO_2 (+ 2ATP)$

問4

タンパク質, 脂質 (脂肪)

問5

(i) クエン酸回路で生じた還元型補酵素は電子伝達系に電子を渡し, 最終的に酸素を還元して水 ( $H_2O$ ) を生じる。クエン酸回路の基質であるクエン酸が増加すると, 産生される還元型補酵素の量が増加し, そのため電子伝達系で消費される酸素が増加する。

(ii) ▲

(iii) コハク酸脱水素酵素の活性部位にコハク酸と構造の似たマロン酸が結合し, 本来の基質であるコハク酸と酵素の結合を競争的に阻害するため。

問6

水素イオンがミトコンドリアの外膜と内膜の間の空間に蓄積され, ミトコンドリアの内膜を挟んで水素イオンの濃度勾配が形成される。水素イオンは濃度勾配に従って内膜上に存在する ATP 合成酵素を通過し, その際に ADP とリン酸から ATP が合成される。

3

問1

ア: 化学進化, イ: ミトコンドリア, ウ: 葉緑体

問2

(I) 7月, (II) 10月, (III) 12月, (IV) 11月

問3

太陽からの有害な紫外線を遮る役目を果たした。

問4

昆虫などの動物との共進化によって, 互いに異なる特定の動物に花粉媒介や種子散布などを行わせて, 繁殖や生存に有利となる形質が進化した結果, それぞれに特徴的な形質が発現して種分化が進み, 多様化したと考えられる。

問5

エ: サヘラントロプス, オ: ラミダス, カ: アウストラロピテクス, キ: ホモ・エレクトス

問6

大後頭孔の位置が頭蓋骨の真下にある。S字型に湾曲した脊椎や土踏まずを持つ。

問 7

眼窩上隆起や顎が小型化している。大腿骨が内側にむいて骨盤と接している。

- ・ 歯列が放射線状になっている。
- ・ 犬歯が退化している。なども可

問 8

頭蓋骨にある孔を脱脂綿などでふさぎ、頭蓋骨と頸骨のつなぎ目から小さな玉を入れていく。細部まで小さな玉が行き渡るように振動を加え、入口まで小さな玉を一杯に入れる。その玉の体積をメスシリンダーで測れば、およその脳容積が求められる。

問 9

炭素の同位体である  $^{14}\text{C}$  は 5730 年の半減期で  $^{14}\text{N}$  に崩壊するが、生物体中の  $^{14}\text{C}$  の割合は大気中と等しい。一方、死んだ生物体内の  $^{14}\text{C}$  は入れ替わらず、時間と共に崩壊して消滅するので、残存する  $^{14}\text{C}$  の割合から化石の年代を推定できる。

問 10

ミトコンドリア DNA は、核 DNA よりも塩基の置換速度が大きく、組換えがなく母性遺伝であり、細胞当たりの DNA のコピー数が多いので、近縁種などの分岐年代を決定する際に、より精度の高い分析ができるから。

問 11

⑤

問 12

ネアンデルタール人由来のゲノムが、現生人類の生存や繁殖に影響を与え、自然選択が働いた結果、必要だから残っていると考えられる。