

令和4年度
神戸大学理学部生物学科
総合型選抜試験問題

小論文

(2021年12月4日実施)

注意事項

- 1) これは問題冊子です。試験監督の指示があるまで、問題冊子を開かないください。
- 2) 問題は4～10頁目にあります。全問題について解答しなさい。11頁目以降は下書き用紙です。
- 3) 答案用紙(別紙)は、全部で5枚です。
- 4) すべての答案用紙の上部の所定の欄に、受験番号と氏名を必ず記入しなさい。未記入の場合は採点できません。
- 5) 解答はすべて、答案用紙の指定のところに記入しなさい。
- 6) 試験時間は2時間です。
- 7) 試験終了後、答案用紙は設問別に回収します。
- 8) 試験終了後、答案用紙以外の問題冊子等も回収します。

小論文問題 I

以下の文章を読んで問いに答えなさい。

地球上に現存する生物は、一部の例外を除いて同じ遺伝暗号を用いて遺伝子の塩基配列情報をタンパク質のアミノ酸配列情報に変換している。この標準的な遺伝暗号はタンパク質合成の鋳型となる mRNA 上の 3 文字の塩基配列を単位として表され、コドンと呼ばれている。図 1 の標準遺伝暗号表に示すように、mRNA で使われる塩基はアデニン (A)、グアニン (G)、シトシン (C)、ウラシル (U) の 4 種類であるため、 $4 \times 4 \times 4 = 64$ 個のコドンがある。このうち 61 個がタンパク質を構成する 20 種類のアミノ酸のいずれかに対応しており、残りの 3 個はいずれのアミノ酸にも対応していない終止コドンである。例えば、翻訳の開始コドンとしても使われる AUG はメチオニンを指定し、UUC はフェニルアラニンを指定する。UAA、UAG、UGA はアミノ酸を指定しない終止コドンである。

1文字目	2文字目				3文字目
	U	C	A	G	
U	UUU フェニルアラニン	UCU セリン	UAU チロシン	UGU システイン	U
	UUC フェニルアラニン	UGC セリン	UAC チロシン	UGC システイン	C
	UUA ロイシン	UCA セリン	UAA 終止コドン	UGA 終止コドン	A
	UUG ロイシン	UCG セリン	UAG 終止コドン	UGG トロプファン	G
C	CUU ロイシン	CCU プロリン	CAU ヒスチジン	CGU アルギニン	U
	CUC ロイシン	CCG プロリン	CAC ヒスチジン	CGC アルギニン	C
	CUA ロイシン	CCA プロリン	CAA グルタミン	CGA アルギニン	A
	CUG ロイシン	CCG プロリン	CAG グルタミン	CGG アルギニン	G
A	AUU イソロイシン	ACU ヒロニン	AAU アスパラギン	AGU セリン	U
	AUC イソロイシン	ACG ヒロニン	AAC アスパラギン	AGC セリン	C
	AUA イソロイシン	ACA ヒロニン	AAA リジン	AGA アルギニン	A
	AUG メチオニン	ACG ヒロニン	AAG リジン	AGG アルギニン	G
G	GUU バリン	GCU アラニン	GAU アスパラギン酸	GGU グリシン	U
	GUC バリン	GCC アラニン	GAC アスパラギン酸	GGC グリシン	C
	GUA バリン	GCA アラニン	GAA グルタミン酸	GGA グリシン	A
	GUG バリン	GCG アラニン	GAG グルタミン酸	GGG グリシン	G

図 1. 標準遺伝暗号表

4 種類の塩基 (U, C, A, G) から構成される 3 文字のコドンは 64 個ある。このうち 3 個はアミノ酸を指定しない終止コドンである。なお、塩基配列は 5' 端側から 3' 端側に表記するので、コドンの 1 文字目が 5' 端で 3 文字目が 3' 端である。

塩基配列情報をアミノ酸配列情報に変換するためには、翻訳装置であるリボソームにアミノ酸を運ぶ役割をもつ 80 ヌクレオチド前後の長さの tRNA と、特定の tRNA に特定のアミノ酸を結合させるアミノアシル tRNA 合成酵素が必要不可欠である。図 2 に tRNA の基本構造を示している。各 tRNA の塩基配列はそれぞれ異なっているが、分子内で 4 ヶ所相補的な塩

基対合を形成している部分があるために、図 2 A に示すように二次元的に見るとクローバー葉に似た共通した構造をもつ。実際には、さらに分子内で折りたたまれ図 2 B に示すような L 字型の三次元構造をとっており、この三次元構造は tRNA がリボソームに入るために必要である。アミノ酸はアミノアシル tRNA 合成酵素によって tRNA の 3'末端の CCA 配列の A (アデニン) ヌクレオチドに結合する。コドンと対合する tRNA のアンチコドン はアミノ酸が結合する CCA 配列の反対側に位置している。

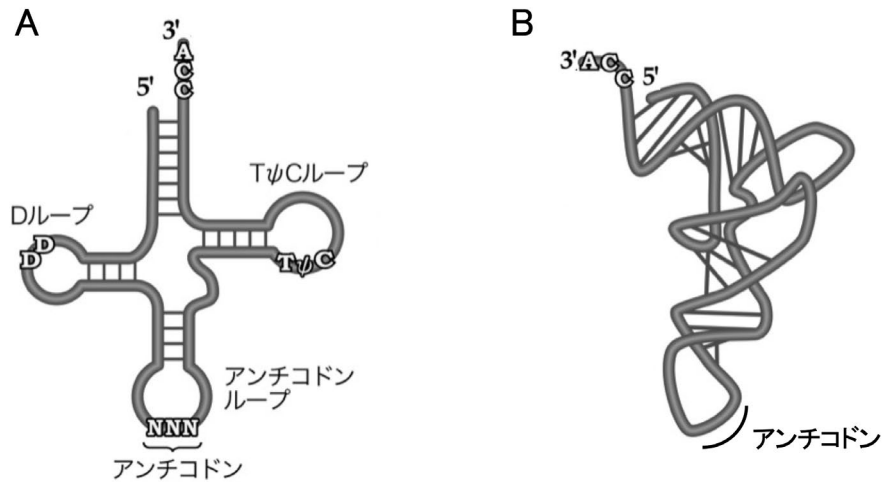


図 2. tRNA の基本構造の模式図

A が二次元的に見たときの構造で、B が実際の三次元的な構造。アミノアシル tRNA 合成酵素によって、tRNA の 3'末端のアデニン (A) ヌクレオチドにアミノ酸が結合する。アンチコドン部分の N は A, G, C, U の 4 塩基のいずれかに対応する。

リボソームの中では、mRNA 上のコドンはアミノ酸を運ぶ tRNA のアンチコドンと塩基相補性によって対合して、コドンの順番通りにアミノ酸がペプチド結合でつながりタンパク質が合成される。例えば、フェニルアラニンを結合した tRNA のアンチコドンの配列は 5'-GAA-3'であり、フェニルアラニンのコドン 5'-UUC-3'と互いの塩基配列が相補的になっている。リボソームが終止コドンにたどり着くと、終止コドンに相補的なアンチコドンをもつ tRNA がいないために翻訳が終了し、それまでに合成されたタンパク質とリボソームが mRNA から離れる。

翻訳にはアミノ酸を指定する 61 個のコドンそれぞれに対応する 61 種類のアンチコドンをもつ tRNA が必要であると思われる。しかし、実際に翻訳に使われる tRNA のアンチコドンは、生物によって異なるものの 40 種類前後しか存在していない。一方で、tRNA にアミノ酸を結合させるアミノアシル tRNA 合成酵素は、タンパク質で使われるアミノ酸の種類と同じ 20 種類存在している。例えば、ロイシン専用のアミノアシル tRNA 合成酵素が、ロイシンを運ぶための複数種類の tRNA すべてにロイシンを結合している。

リボソームで合成されたタンパク質を構成する 20 種類のアミノ酸は、それぞれの側鎖の化学的性質によって分類される。図 3 に示すように、水に溶解しやすい親水性の側鎖をもつアミノ酸は 3 つのグループに分類される。アスパラギン酸とグルタミン酸は酸性の（負電荷をもつ）側鎖をもち、反対にリシン、アルギニン、ヒスチジンは塩基性の（正電荷をもつ）側鎖をもつ。セリン、トレオニン、アスパラギン、グルタミン、チロシン、システイン、グリシンは中性の側鎖をもつ。一方で、疎水性の側鎖をもつグループには、アラニン、バリン、ロイシン、イソロイシン、メチオニン、プロリン、フェニルアラニン、トリプトファンがある。このようなアミノ酸の側鎖の化学的性質は、細胞内でタンパク質が折りたたまれて立体構造を形成するための重要な要因になっている。

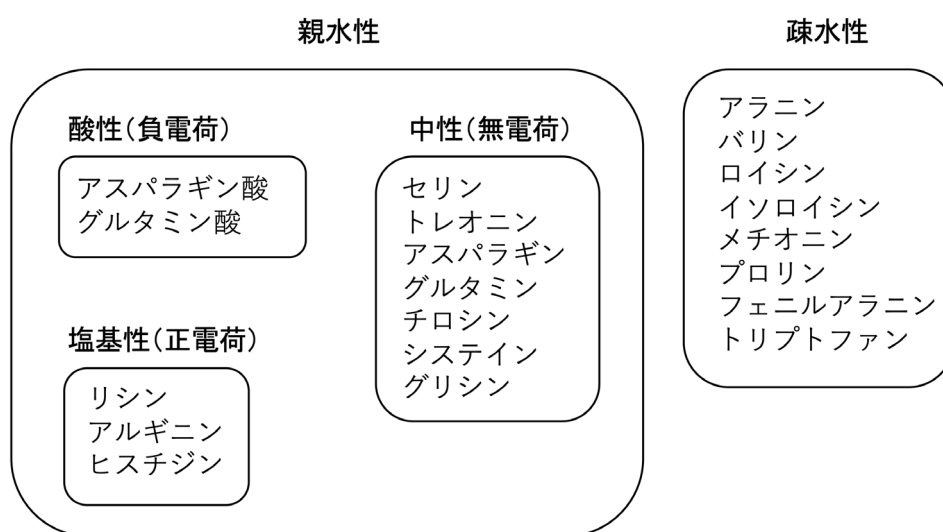


図 3. アミノ酸の側鎖の化学的性質

タンパク質合成に使われる 20 種類のアミノ酸は、親水性の側鎖をもつグループと疎水性の側鎖をもつグループに大別される。親水性の側鎖をもつアミノ酸はさらに電荷の状態によって 3 つのグループに分類される。

問 1. 図 1 に示す標準遺伝暗号表のコードンとアミノ酸の配置はランダムではなくて、ある程度の傾向や規則性があるように見える。同じアミノ酸を指定する複数のコードンの配列に着目しながら、どのような傾向や規則性があると考えられるか、自由に論じなさい。

問 2. 問 1 で論じたコードンとアミノ酸の配置の傾向や規則性をもとにして、実際の翻訳に使われる tRNA のアンチコードンが 61 種類よりも少なくてもよい理由を自由に論じなさい。

問3. アミノアシル tRNA 合成酵素が tRNA にアミノ酸を結合するときには、そのアミノ酸に対応した正しい tRNA を見分ける必要がある。例えば、バリン専用のアミノアシル tRNA 合成酵素がアラニンを運ぶ tRNA にバリンを結合することがあってはならない。アミノアシル tRNA 合成酵素は tRNA のどの部分を認識して対応する正しい tRNA を選択していると考えられるか、自由に論じなさい。

問4. 図3に示す親水性の3グループと疎水性の1グループのアミノ酸をすべて含み、特定の立体構造を形成している酵素タンパク質が、豊富に水分子が存在する細胞の中で働いていると仮定する。この酵素タンパク質の中で4つのグループのアミノ酸はどのような空間的位置を占め、互いにどのような位置関係をとると考えられるか、自由に論じなさい。

小論文問題Ⅱ

聴覚に関する以下の文章を読んで問いに答えなさい。

哺乳類の耳では、外界からの音波は鼓膜、耳小骨などを介して内耳に伝わり、さらに内耳にあるうずまき管のリンパ液を介してうずまき管の中の基底膜を振動させる。これにより基底膜上の有毛細胞（感覚細胞）の感覚毛が変形し、有毛細胞に電気的な変化が生じることで、音として検出される。⁽¹⁾ 有毛細胞は聴神経を構成するニューロンとシナプスを形成し、聴神経に生じた活動電位が脳に音の情報を伝える。

音の高さは、振動する基底膜の位置によって識別される。⁽²⁾ 基底膜はうずまき管の入り口（基部）から先端部に進むにしたがって堅さと厚さが徐々に変化しており、振動数が大きい音波（高い音）ほど基部に近い基底膜を、振動数が小さい音波（低い音）ほど先端部に近い基底膜をそれぞれ大きく振動させる。このため、音の高さによって刺激を受ける有毛細胞の位置が異なり、音の高低が区別できる。

多くの動物は、外界を探索する手段として音を利用する。例えばコウモリは、自分が出した超音波の鳴き声が、獲物である小型昆虫にぶつかって返ってくるエコーから、目指す獲物の位置やその移動速度を正確に把握する「エコーロケーション」を行う。このため、⁽³⁾ コウモリの基底膜はエコーロケーションに用いる超音波の振動数のわずかな違いを検出できる構造をしている。

コウモリの被食者である小型昆虫の中には、このエコーロケーションから逃れるための聴覚を有するものがある。⁽⁴⁾ ある種のガは、左右の腹部にそれぞれ鼓膜と2個の聴覚ニューロン（A1, A2）からなる耳を持つ。このガは、コウモリが40メートル以上離れていれば特に反応しないが、30～40メートル以内に近づくとコウモリと反対の方向に逃避し、4.5～6メートルの距離になるとループやターン、急降下など予測のつきにくい複雑な飛翔をすることでコウモリの攻撃から逃れる。一方、これらのガに対抗して、ガには感知できない超音波を利用するコウモリもいる。

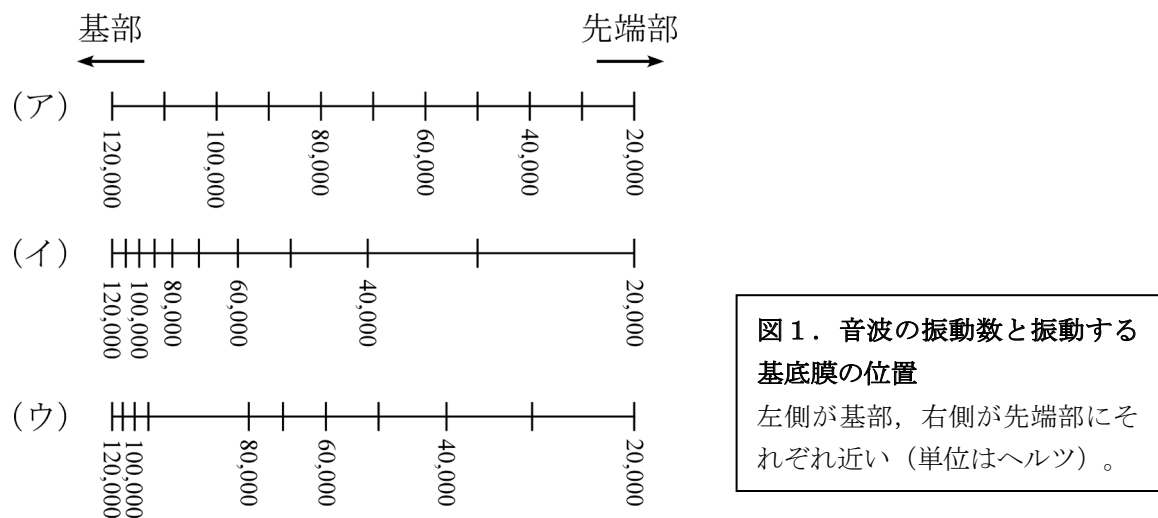
問1. 下線部（1）について、このニューロンが有毛細胞から分泌された神経伝達物質を受容して活動電位を発生する過程について、以下の三つの語句をすべて用いて説明しなさい。

神経伝達物質依存性イオンチャネル、電位依存性ナトリウムチャネル、
電位依存性カリウムチャネル

問2. 下線部(2)と(3)について、以下の(a), (b)に答えなさい。

(a) ある種のコウモリは、自分がエコーロケーションに利用する80,000~90,000 Hz(ヘルツ)の音波に対して、他の振動数に比べて非常に細かい高低の識別ができる。このコウモリの基底膜の、20,000~120,000 Hzの音波に対して振動する基底膜の位置を相対的に示した図として、最も適当なものを図1の(ア)~(ウ)から選びなさい。

(b) (a)の解答を選んだ理由を説明しなさい。



問3. 文章中で述べたコウモリとガの関係について、以下の(a), (b)に答えなさい。

(a) このような、異なる生物が環境の中で互いに影響を及ぼし合いながら新たな形質を獲得する過程を何と呼ぶか、名称を答えなさい。

(b) (a)の解答について、コウモリとガの関係以外で知られている例を一つ挙げ、どのような生物間の相互作用が、それぞれの生物の形質にどのような影響を及ぼしたのか説明しなさい。

問4. 下線部(4)について、以下の(a), (b)に答えなさい。

(a) このガを用いて、様々な距離からコウモリの鳴き声を聞かせながら、聴覚ニューロンA1, A2のそれぞれから活動電位を記録したところ、図2に示すような結果になった。これらの結果とガがコウモリに対して示す行動から、A1とA2の超音波に対する反応特性の違いと、それらを利用したコウモリまでの距離の把握のしくみについて推測して論じなさい。ただし、コウモリは常に同じ強さで鳴くものとする。

(b) このガは耳を使って、自分とコウモリとの間の距離だけでなく、コウモリがいる方向も検出することができる。このしくみを明らかにするためにはどのような実験を行ったらいと考えるか、自由に論じなさい。

