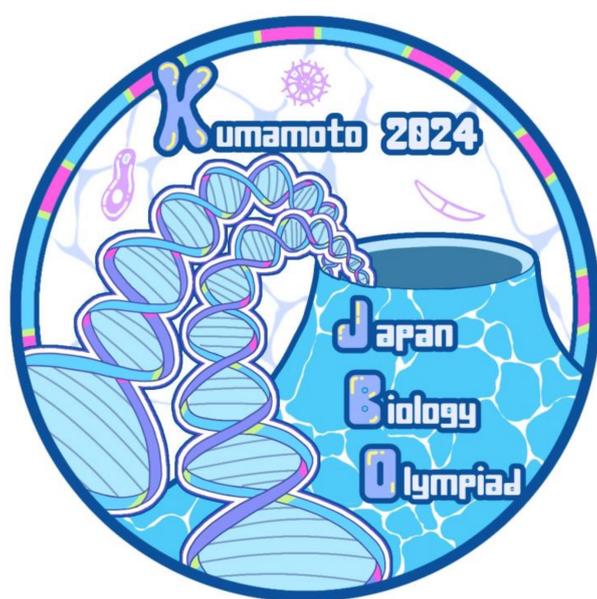


日本生物学オリンピック 2024

本選 熊本大会



理論試験

諸注意

1. 試験中に緊急事態が発生した場合には、試験監督の指示に従ってください。
2. 以下のことを守らない場合は、不正行為となることがあります。不正行為と認められた場合、その時点で失格とし、試験終了まで自席で待機してもらいます。
 - (a) いつでも受験者本人の確認ができるよう、名札は首にかけるか、机の上に置いてください。
 - (b) 電子機器類の扱いについて、試験監督の指示に従ってください。具体的には以下のように対応して頂きます。
 - (i) まず、スマートフォン、携帯電話、その他通信可能な機器をすべて机の上に出してください。そしてそれらの電源を切ってください。マナーモードに設定していても、必ず電源を切ってください。これらの機器を試験中に使用することはできません。
 - (ii) 次に、電源を切ったスマートフォン、携帯電話、その他通信可能な機器を、かばんなどにしまってください。
 - (iii) かばんの中でスマートフォン、携帯電話が鳴った場合は、試験監督は本人の了解を得ずにかばんを預かります。
 - (iv) 腕時計のアラームを設定している人は解除してください。
 - (c) 机の上に置けるものは、鉛筆かシャープペンシル、消しゴム、鉛筆削り、時計、眼鏡、ポケットティッシュ、名札、配布された飲料です。これ以外のものはかばんにしまい、机や椅子の足元に置いてください。通路を邪魔することの無いようご注意ください。
3. これから試験が終わるまで、試験室を出てはいけません。試験の途中で体調が悪くなった場合、トイレに行きたい場合、水分補給をしたい場合、その他やむを得ず途中退室を希望する場合は挙手をして試験監督に知らせてください。
4. 貴重品の管理は、各自で行ってください。
5. 各問題について、解答用紙の該当する解答欄に正しくマークしてください。正しくマークされていない場合は、事故答案となって採点できないことがあります。
6. 問題冊子に印刷の不鮮明なページや乱丁・落丁があったり、解答用紙に汚れなどがあった場合には、手を高く挙げて試験監督に知らせてください。
7. 問題冊子の余白をメモ用紙や計算用紙として利用して構いませんが、ページは切り離さずにご利用してください。
8. 問題内容に関する質問は受け付けません。試験進行に関する質問があれば、手を高く挙げて試験監督に知らせてください。
9. 試験終了後、問題冊子は持ち帰ってください。
10. この諸注意に書かれていない事象が生じた場合、すべて試験監督が判断を下します。
11. この試験では、同一の解答欄に複数の選択肢をマークする場合があります。問題ごとの指示に従い、注意して解答してください。

The IBO Oath

国際生物学オリンピック（国際大会）では、開会式の際に、選手全員で以下の英文を読み上げ、宣誓します。

We, competitors of this International Biology Olympiad solemnly swear that we will answer the theoretical and practical competition questions in the most responsible way and we will compete honestly according to the principles of "Fair Play".

それに従い、この試験を受ける皆さんは、以下の文章を黙読し、心の中で宣誓を行ってください。

宣誓

我々は日本生物学オリンピック本選 2024 熊本大会 理論試験において、フェアプレーの精神に則り、誠実かつ正々堂々と試験に臨むことを誓います。

次のページから 問題が始まります

試験時間は 80 分です。

この試験の問題数は 12 問で、解答欄の数は 40 個です。
また、満点は 98 点です。

この試験では、同一の解答欄に複数の選択肢を
マークする場合があります。
問題ごとの指示に従い、注意して解答してください。

下書き用紙
(切り離さずに用いよ)

第1問

(8点)

アルツハイマー病は、老人期における認知症の最大の原因疾患であり、患者数が増加していることから治療薬の開発が望まれている。アルツハイマー病の患者の脳内には、老人斑および神経原線維変化とよばれる特徴的な蓄積物が観察され、それぞれの主成分はアミロイドβペプチド(Aβ)およびタウタンパク質である。後者よりも前者の蓄積の方が早期にみられることから、前者を標的とした治療薬の開発が世界中で進められている。

近年、Aβに対するモノクローナル抗体である「レカネマブ」がアルツハイマー病の治療薬として認可され、日本において初めてアルツハイマー病の原因仮説に即した薬剤として臨床使用されることになった。レカネマブは、アルツハイマー病による軽度認知障害及び軽度の認知症の進行抑制に対して処方され、通常、レカネマブ（遺伝子組換え）として10 mg/kgを、2週間に1回、約1時間かけて点滴で静脈内に投与する。

問1

以下の(1)-(5)の記述の正誤を判定し、正しいと判断される選択肢の番号をすべてマークしなさい。なお、すべての記述が正しいと判断した場合は(9)だけをマークし、正しい記述が無いと判断した場合は(0)だけをマークしなさい。解答欄は

1

- (1) レカネマブの抗原結合部位のうち、一方はAβ、他方はタウへの結合性を示す。
- (2) 抗体医薬品は、経口投与が難しいため注射や点滴によって投与される。
- (3) 抗体は、システインを必ず有している。
- (4) 遺伝子組換え医薬品は、大腸菌を用いて製造されることはない。
- (5) 抗体医薬品は、アルツハイマー病等の神経変性疾患に有用であるが、がんに対してははまだ実用化されていない。

問2

つぎの文章は、レカネマブを用いた実験に関する記述である。文章の空欄(ア)-(エ)に入る数値の正しい組合せ(もっとも近いもの)を以下の(1)-(9)からひとつだけ選び、該当する番号を解答欄にマークしなさい。解答欄は

2

アクリルアミドゲルを用いて十分量のレカネマブを電気泳動し、適切な染色剤を用いて染色したところ、図1-1のような結果を得た。レーン①のように非還元状態では抗体の立体構造が保持され、分子量が約15万の付近にバンドが1本検出された。一方、レーン②のように還元状態では抗体の立体構造が破壊されるので、分子量に依存して分離され、約5万と約2万5千の付近にバンドが1本ずつ検出された。アミノ酸の平均分子量を110とすると、この実験結果および一般的な抗体の構造から、レカネマブは約(ア)個のアミノ酸残基からなるH鎖(イ)本と約(ウ)個のアミノ酸残基からなるL鎖(エ)本で構成されるタンパク質であることがわかる。

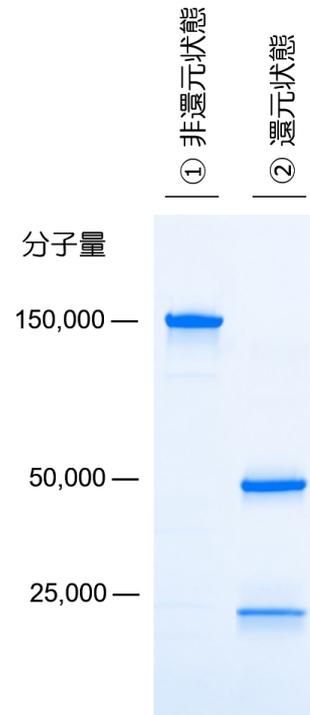


図1-1. レカネマブの電気泳動

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
ア	450	450	450	900	900	900	5000	5000	5000
イ	1	1	2	1	2	2	1	1	2
ウ	220	220	220	110	110	110	2500	2500	2500
エ	1	2	2	1	1	2	1	2	2

問3

下線部アにしたがって体重75kgの患者に問2のレカネマブを投与する場合、1回の投与あたり何モルのレカネマブを用いることになるか。正しい数値を以下の(1)-(8)からひとつだけ選び、該当する番号を解答欄にマークしなさい。解答欄は

3

- (1) 5×10^{-3} モル
- (2) 5×10^{-4} モル
- (3) 5×10^{-5} モル
- (4) 5×10^{-6} モル
- (5) 1×10^{-4} モル
- (6) 1×10^{-5} モル
- (7) 3×10^{-4} モル
- (8) 3×10^{-5} モル

第2問

(7点)

通常、トランスポゾン(転移因子)はゲノム DNA 上を移動(転移)する時に移動元に影響を与えないが、ある頻度でトランスポゾンの両端や片側にあるゲノム DNA を削り取ることが知られている(図 2-1)。研究の現場では、この性質を利用して、欠失型の突然変異体を作製することがある。

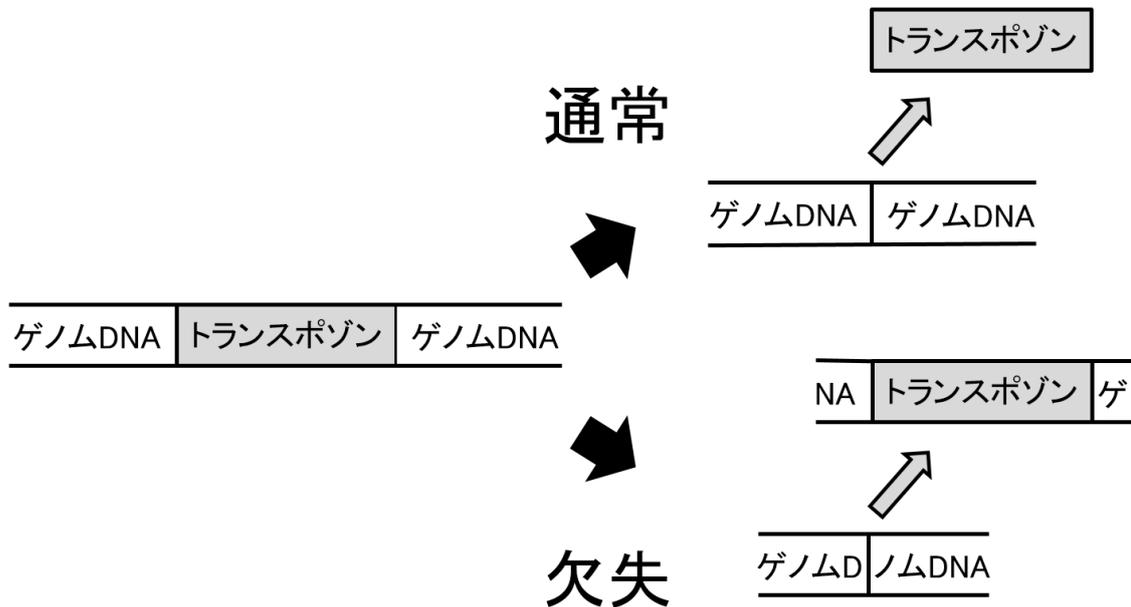


図 2-1. トランスポゾン転移の模式図

この方法を使って突然変異体を作製し、目的の遺伝子領域内(図 2-2)での欠失の範囲を確認するために次の操作を行った。まず、野生型と突然変異型(ホモ接合)の個体から DNA を抽出し、鋳型とした。次に、6 種のプライマー(表 2-1)を組み合わせて PCR を行い、電気泳動をしたところ、表 2-2 のような結果を得た。なお、プライマーの配列はゲノム上では図 2-2 以外の場所に存在せず、一塩基でも異なる場合は、アニーリングしないことを前提として考察せよ。

問 1

突然変異型の DNA を鋳型とし、プライマーを I と VI および II と VI で PCR をした増幅産物が、それぞれ 100 bp と 70 bp であった場合、突然変異体が欠失した範囲の長さは何 bp か。最も適当なものを以下の (1)-(8) の中からひとつだけ選び、選択枝の番号を解答欄にマークしなさい。解答欄は

- | | | | |
|--------|--------|---------|---------|
| (1) 30 | (2) 33 | (3) 44 | (4) 47 |
| (5) 58 | (6) 65 | (7) 111 | (8) 170 |

問 2

突然変異体では、図 2-2 に示された領域のうち、どの箇所が欠失したといえるか。最も適当なものを以下の (1)-(7) の中からひとつだけ選び、選択枝の番号を解答欄にマークしなさい。ただし、問 1 の答え(欠失した範囲の長さ)を α とする。解答欄は

- (1) 97 番目から 134 番目の間に両端がある α
- (2) 40 から 46 番目の間に一端、150 から 156 番目の間にもう一端がある α
- (3) 80 番目から 134 番目の間に両端がある α
- (4) 76 番目に一端、140 番目にもう一端がある α
- (5) 74 から 86 番目の間に一端、120 から 132 番目の間にもう一端がある α
- (6) 87 番目に一端、119 番目にもう一端がある α
- (7) 80 番目に一端、126 番目にもう一端がある α

表 2-1. 用いたプライマー配列. 表内のすべてのプライマーは左側が 5' 端、右側が 3' 端である.

プライマー	配列
I	GCGTAGC
II	GCCGTAC
III	ACTCGCT
IV	AGGCAAA
V	TACGATT
VI	TTTATCT

表 2-2. PCR の結果. ○は PCR 産物が増加したこと、×は増加しなかったことを示す.

プライマー	鋳型 DNA	
	野生型	突然変異型
I と III	○	×
I と IV	○	×
I と VI	○	○
II と III	○	×
II と IV	○	×
II と VI	○	○
III と V	○	×
IV と V	○	×
V と VI	○	×

5' -TTAGTTGGCG CGTAGCTTTA CCACAAAATT CCTGGAATTG CCGTACACTT
1 50

CGCAGTTGTT TCAAGTTGTC TACGGGACAT ACGATTTTTT TTGCCTAGCC
51 100

AAAACCGATT TAACCCAAAA GCGAGTTACT GGCTCAGTAC ATTATTATTA
101 150

GATAAAGAAG TTTATGTAAT ACTTCAGTTG AATAAACTGT GCTTGGTTTT -3'
151 200

図 2-2. 目的の遺伝子領域 (野生型の塩基配列). トランスポゾンには表示していない.

第3問

(11点)

線虫 *C. elegans* は、理想的な環境では雌雄同体で存在する。雌雄同体の成虫の体内では自家受精が起こり、産み落とされた卵から幼虫が孵化し、発生が進む。個体の核相は $2n$ であり、配偶子の核相は n である。この線虫 *C. elegans* を用いて以下の実験を行った。

- (1) 1匹の雌雄同体 (P) を寒天培地に移し、第1世代 (F_1) を作らせた。
- (2) F_1 と P を混同しないように、生じた F_1 から十分な数の幼虫を無作為に選んで新たな寒天培地に移して維持し、 F_1 に第2世代 (F_2) を作らせた。
- (3) 以下、世代同士 (F_{n-1} 、 F_n) を混同しないように、 F_{n-1} の寒天培地で生じた F_n の十分な数の幼虫を無作為に選んで新たな寒天培地に移して維持した。
- (4) 寒天培地中に存在する F_n の個々の遺伝子型を調べあげた。

これを踏まえて、以下の問いに答えなさい。なお、環境が悪化するなどした場合、線虫 *C. elegans* には一定の頻度でオスが生じるが、本問ではすべての過程でオスは生じず、すべて自家受精による雌雄同体が生じた。また無作為に抽出した F_n の『十分な数』というのは、『無作為に抽出した F_n が示す出現頻度』が『 F_n 全体を母集団としたときの出現頻度』と同一と見なすのに十分であったことを意味する。

問1

線虫 *C. elegans* において、野生型の遺伝子 A に対して変異型の a という対立遺伝子が存在している。この実験で P の遺伝子型が Aa であるとき、第12世代 (F_{12}) の線虫全体を1とした場合に理論的に見積られる AA の個体の割合を求めなさい。ここで雌雄同体において遺伝子 A と遺伝子 a とが次世代に引き継がれる効率 (配偶子の形成効率、受精効率、産卵数、発生効率など) は互いに全く同等とする。解答は既約分数*1 とし、分子と分母にあてはまる整数をそれぞれ解答欄 と に記入しなさい。

問1の答は $\frac{\text{6}}{\text{7}}$ である

問2

線虫 *C. elegans* において、野生型の遺伝子 B に対して変異型の b という対立遺伝子が存在している。野生型 B に対して変異型 b のホモ接合体は胚性致死となり、産み落とされた卵の孵化が起こらない。この実験で P の遺伝子型が Bb であるとき、第12世代 (F_{12}) の成虫全体を1とした場合に理論的に見積られる BB の成虫の割合を求めなさい。ここで雌雄同体において遺伝子 B と遺伝子 b が次世代に引き継がれる効率 (配偶子の形成効率、受精効率、産卵数など) は互いに全く同等とする。解答は既約分数とし、分子と分母にあてはまる整数をそれぞれ解答欄 と に記入しなさい。

問2の答は $\frac{\text{8}}{\text{9}}$ である

*1 分子と分母が互いに素になるまで約分された分数のこと

第4問

(9点)

地球上の多様な生物は、階層的に分類されることで体系的に整理される。生物の外部形態に基づく古典的な分類体系は系統進化の歴史を反映したものであるとは限らないため、最近ではDNAデータを用いて構築した系統樹に基づく分類体系が考案されている。

問1

下線部アに関して、下の表4-1は作物の学名を記したものである。この表をもとに、同じ科（同科）、同じ種（同種）に分類される作物の組み合わせとして正しいものを解答の選択肢の中からひとつだけ選び、選んだ選択肢の番号を解答欄にマークしなさい。なお、該当する作物の組み合わせがない場合には、該当なしを選ぶこと。解答欄は

表4-1. 穀物と野菜の学名.

作物	学名
イネ	<i>Oryza sativa</i>
キャベツ	<i>Brassica oleracea</i>
ハクサイ	<i>Brassica rapa</i>
レタス	<i>Lactuca sativa</i>

解答の選択肢

	同科	同種
(1)	イネとレタス	イネとレタス
(2)	イネとレタス	キャベツとハクサイ
(3)	イネとレタス	該当なし
(4)	キャベツとハクサイ	イネとレタス
(5)	キャベツとハクサイ	キャベツとハクサイ
(6)	キャベツとハクサイ	該当なし
(7)	該当なし	イネとレタス
(8)	該当なし	キャベツとハクサイ
(9)	該当なし	該当なし

問2

下線部イに関して、外部形態をはじめとする生物の分類に用いられる特徴が系統進化を反映しない場合には、特徴の類似した分類群が単系統群とならないこともある。以下の選択肢(1)-(3)で説明される生物のうち、単系統群でないものをすべて選び、選んだ選択肢の番号をすべて解答欄にマークしなさい。なお、すべての選択肢を解答として選ぶ場合は(9)のみを、適切な生物群が無いと判断した場合は(0)だけをマークしなさい。解答欄は

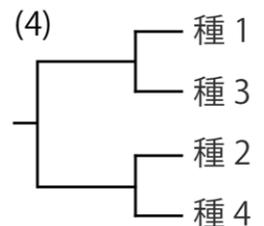
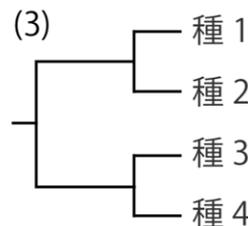
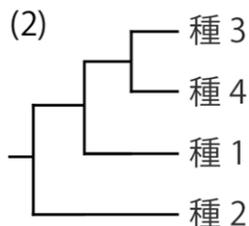
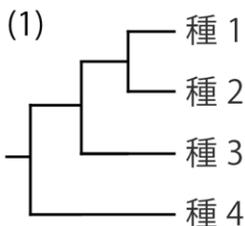
- (1) 核膜を持たない原核生物 (2) 光合成を行う真核生物 (3) 2枚の子葉を持つ双子葉植物

問3

下線部ウに関して、右の表4-2は4種の生物(種1-4)から得られた遺伝子Xの塩基配列において多型の見つかったサイト(サイト1-4)の塩基を表している。この4種の系統関係について、遺伝子Xの塩基配列をもとに最節約法の原理に基づき構築される系統樹を下の系統樹(1)-(4)からすべてを選び、選んだ選択肢の番号をすべて解答欄にマークしなさい。なお、すべての選択肢を解答として選ぶ場合は(9)のみを、適切な系統樹が無いと判断した場合は(0)だけをマークしなさい。解答欄は

表4-2. 遺伝子Xに見つかったサイトごとの多型.

種	サイト1	サイト2	サイト3	サイト4
種1	C	T	A	T
種2	C	C	T	T
種3	A	C	A	G
種4	A	T	T	G



第5問

(9点)

エビ、カニ、ヤドカリなどは、十脚目とよばれる比較的大型の甲殻類である。十脚目では、古くからタラバガニやヤシガニのように、カニ（カニ下目）とは異なる分類群においてカニに似た形の種が存在することが知られていた。このような「非カニ形」の祖先種から「カニ形」の種が進化することを「カーシニゼーション (carcinization)」という。最近の分子系統解析により、十脚目においてカーシニゼーションは複数回生じたことが分かっている（図 5-1）。

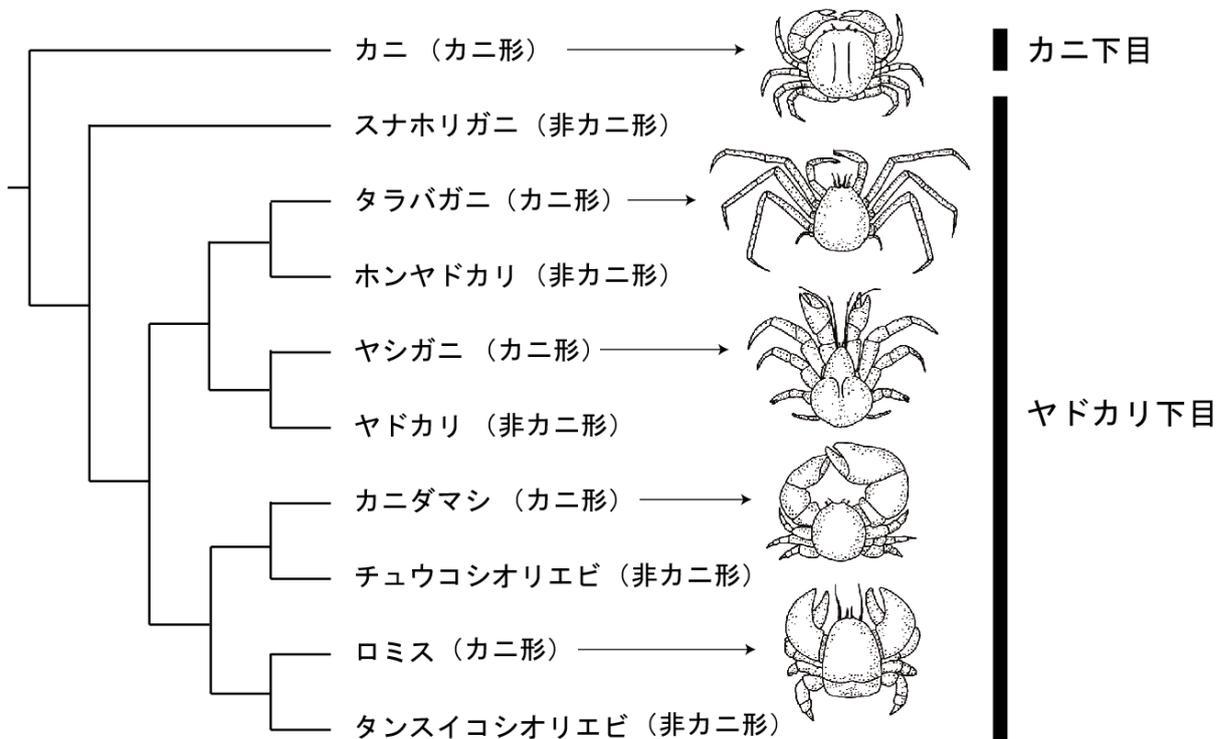


図 5-1. カニ下目とヤドカリ下目の主要な分類群の系統関係 (Morrison et al. 2001 の図を参考に作図)

問 1

系統樹（図 1）に関連する記述 (1)-(4) について、正しいものをすべて選び、選んだ選択肢の番号をすべて解答欄にマークしなさい。なお、すべての記述が正しいと判断した場合は (9) を、適切な記述が無いと判断した場合は (0) だけをマークしなさい。解答欄は

- (1) ヤドカリ下目のなかで最初に分岐した分類群はスナホリガニである。
- (2) ヤドカリ下目の共通祖先はカニである。
- (3) ヤシガニとヤドカリは姉妹群を形成する。
- (4) タラバガニとホンヤドカリは単系統群を形成する。

問 2

十脚目の共通祖先は「非カニ形」であったと考えられている。このとき、「カニ形」と「非カニ形」の形質変化の回数が最小となる変化の起き方は何通り考えられるか、該当する数字を解答欄 に記入しなさい。また、その時の変化の回数は何回になるか、該当する数字を解答欄 に記入しなさい。

第6問

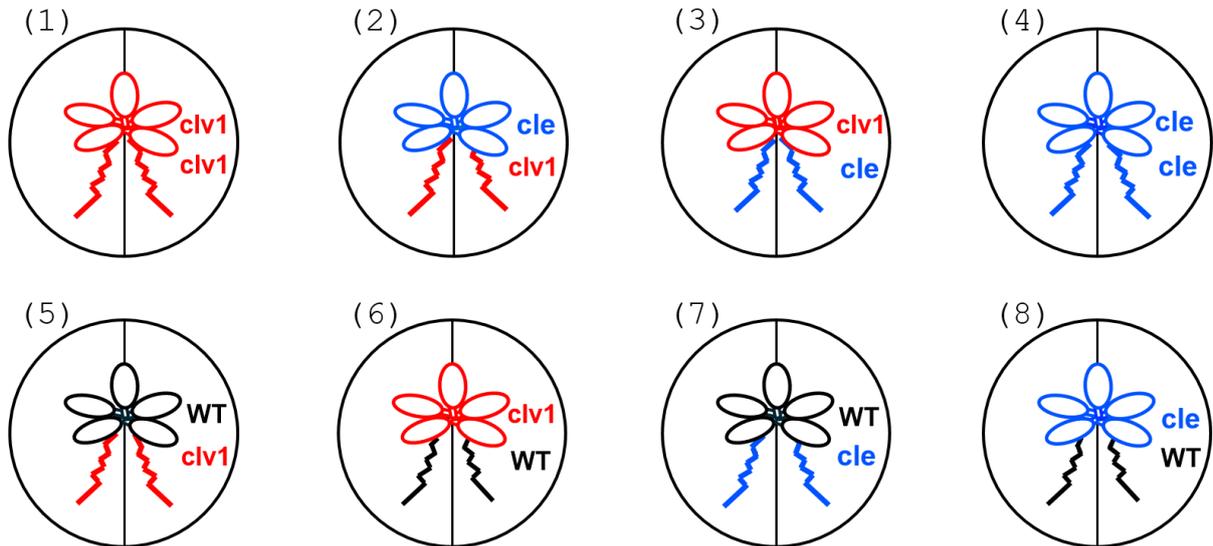
(7点)

シロイヌナズナの CLE 遺伝子はペプチドホルモンをコードしている。植物感染性線虫のサツマイモネコブセンチュウが根に感染した後、CLE 遺伝子の発現は根で上昇する。CLE ペプチドは地上部に移動し、CLV1 受容体に受容される。CLV1 受容体が活性化すると、糖輸送体の遺伝子発現が誘導され、葉から根への糖の輸送が促進される。このような CLE-CLV1 が関わる全身性シグナルにより、線虫感染が促進される。

問 1

領域をふたつにわけたシャーレを用いて、根を分岐させるようにふたつに分けて接ぎ木植物を生育させる実験を考案した。シャーレの右の領域の根に線虫を感染させた後、左の領域にも線虫を感染させた。この場合、野生型に比べて左の領域の線虫感染率が低くなると考えられる最も適当なものを次の (1)-(8) の選択肢の中からすべて選び、選んだ選択肢の番号をすべて解答欄にマークしなさい。なお、すべての選択肢があてはまると判断した場合は (9) だけをマークし、あてはまる選択肢が無いと判断した場合は (0) だけをマークしなさい。ここで、シャーレの左右の領域は境界を隔てて完全に独立しており、培地成分や線虫の行き来は全く無いものとする。また、シロイヌナズナの場合、機能欠失型変異体は小文字で表記される。

解答欄は



問 2

CLE-CLV1 が関わる全身性シグナルについて、正しい記述と思われるものを次の (1)-(4) からすべて選び、選んだ選択肢の番号をすべて解答欄にマークしなさい。なお、すべての記述が正しいと判断した場合は (9) だけをマークし、正しい記述が無いと判断した場合は (0) だけをマークしなさい。解答欄は

- (1) 線虫は、CLE-CLV1 が関わる全身性シグナルを抑制する。
- (2) 線虫感染後胚軸を切断すると、根側の切断面から CLE ペプチドが漏出する。
- (3) cle 突然変異体では、根の糖量が減少する。
- (4) CLE 過剰発現体では、根の糖量が減少する。

第7問

(7点)

シアノバクテリアの一種 *Synechococcus* に感染するウイルス S-2L 株は、その DNA にアデニン (A) ではなく 2-アミノアデニン (Z) を持つことが知られており、Z、C、G、T の 4 種類の塩基を持つ。これらの塩基を用いた DNA の二重らせん構造では、A と T の代わりに Z と T の組み合わせになる。A と T の間の結合がふたつの水素結合であるのに対して、Z と T は三つの水素結合をもつため、より強固に結合することができる (図 7-1)。また、A が Z に置き換わった DNA は、A を含む配列を認識する制限酵素 (*Synechococcus* がもつ感染防御機構) によって切断されなくなるが、遺伝情報としては A と Z は等価である。以上を踏まえ、以下の問に答えなさい。

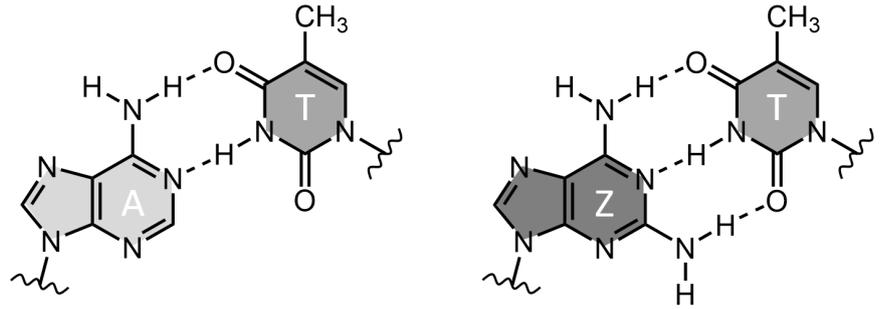


図 7-1. DNA の塩基. 点線は水素結合を、波線は糖との結合部位を示す.
左: A と T、右: Z と T

問 1

S-2L 株のゲノム配列の Z を A に置き換えたウイルス W 株を作成した。S-2L 株と W 株をそれぞれ *Synechococcus* に感染させたところ、S-2L 株は感染して増殖することができたが、W 株は感染しても増殖することができなかった。その原因として考えられることとして適当なものを、次の (1)-(5) の記述のなかからすべて選び、選んだ選択肢の番号をすべて解答欄にマークしなさい。なお、すべての記述が正しいと判断した場合は (9) だけをマークし、正しい記述が無いと判断した場合は (0) だけをマークしなさい。解答欄は

- (1) *Synechococcus* が持つ制限酵素で W 株のゲノム DNA が切断されたため
- (2) *Synechococcus* が持つ制限酵素で W 株のゲノム DNA が切断されなかったため
- (3) W 株のゲノムにコードされる RNA 合成酵素が W 株のゲノム DNA を認識できなくなったため
- (4) W 株のゲノムにコードされるタンパク質合成酵素が W 株のゲノムから転写された RNA を認識できなくなったため
- (5) W 株にコードされるタンパク質の立体構造が変化するため

問 2

2 本鎖 DNA は、高温になると塩基どうしの水素結合がはずれ、2 本の 1 本鎖 DNA になる。これを DNA の変性といい、水溶液中の DNA の半数が変性する時の温度を、その DNA の融解温度 (T_m) と呼ぶ。 T_m は DNA の塩基配列によって異なり、三つの水素結合を持つ CG 塩基対の割合が高いと、 T_m は高くなる。 T_m の値が CG 塩基対ひとつあたり 4°C 、AT 塩基対ひとつあたり 2°C と計算すると、 $5'-\text{AGTATGATCCTCGAG}-3'$ 、 $3'-\text{TCATACTAGGAGCTC}-5'$ という配列の DNA の T_m は 44°C になる。

この DNA の A がすべて Z に置き換わった場合、Z と T の間の水素結合が三つであるため T_m の値が変化する。その場合、結果としてこの DNA の T_m は何 $^\circ\text{C}$ になるかを計算し、以下の (A) にあてはまる整数を解答欄に記入しなさい。ただし、 T_m の値は ZT 塩基対ひとつあたり 4°C と計算すること。解答欄は

問 2 の答は (A) $^\circ\text{C}$ である

問 3

S-2L 株のゲノムの G の割合が 34.3% であったとき、ゲノム中の Z の割合はどのくらいになると予想されるか。その数値を小数点第一位まで求め、以下の (B) にあてはまる数字を解答欄に記入しなさい。なお、S-2L 株ではゲノム中のすべての A が Z に置き換わっているものとする。解答欄は

問 3 の答は (B) % である

第8問

(6点)

カタツムリが這うように進んでいく様子を這行と呼ぶ。這行するカタツムリを透明なガラス板に乗せて裏側から観察すると、図8-1(a)のような複数の縞模様が観察された。この縞模様のひとつ(X)を真横から見ると図8-1(b)のようになっていることが判明した(ここで、縞と縞の間の領域をYとする)。また、腹足とガラス板の隙間はカタツムリの分泌液(粘液)で満たされており、その粘液はムチンと呼ばれる糖タンパク質によって粘性を帯びている。この粘液は以下のような特性を持っている。

- ・この粘液は、静置もしくは加える力が閾値以下の状態では弾性を持った固体のようにふるまう。
- ・この粘液を攪拌したり急な力を加えたりして、加えた力がある閾値を超えた場合、粘性を持った液体のようにふるまう。
- ・この粘液に加わる力が閾値を下回ると、粘性を持つ液体としての特性を発揮していた粘液は速やかに弾性を持つ固体としての特性を取り戻す。

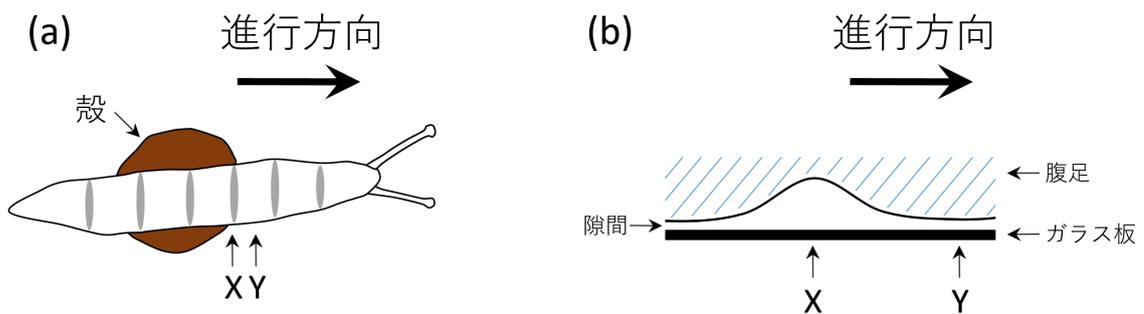


図8-1. (a) 這行するカタツムリをガラス板に乗せ、裏から観察したときの様子。(b) 這行するカタツムリの腹足を横から観察した時の様子

これらを踏まえ、次のように考えると、カタツムリが這行する仕組みを説明できる。図8-1(a)において、カタツムリの進行方向に対して腹足のXの部分の筋肉が収縮すると、腹足に収縮縞が生じる。この縞が生じるさいに腹足と接触面の隙間に図8-1(b)のようなへこみが生じ、このへこみの中で隙間を満たす粘液に閾値を超える急な力が加わり、粘液が攪拌されることになる。結果として図8-1のように這行している最中のカタツムリ腹足のXとYを比べると(あ)の摩擦力が強く、カタツムリの進行時に(あ)が足掛かりとなる。このため、カタツムリが前方へ這行している最中はXを含む縞模様が腹足上を(い)に移動しているように見える。

問1

以下の選択肢(1)-(8)の中から、ムチン様糖タンパク質が粘り気の成分となっているものをすべて選び、選んだ選択肢の番号をすべて解答欄にマークしなさい。なお、すべての選択肢があてはまると判断した場合は(9)だけをマークし、あてはまるものがないと判断した場合は(0)だけをマークしなさい。解答欄は

- | | | | |
|--------|----------|-----------|---------|
| (1) 納豆 | (2) ヒト胃液 | (3) ヒト涙液 | (4) 山芋 |
| (5) 里芋 | (6) オクラ | (7) ウナギ体表 | (8) ナメコ |

問2

空欄(あ)(い)にあてはまる言葉の組合せとしてもっともふさわしいものを以下の選択肢(1)-(4)からひとつだけ選び、選んだ選択肢の番号を解答欄にマークしなさい。解答欄は

- (1) X・進行方向と同じ向き (2) Y・進行方向と同じ向き (3) X・進行方向と逆向き (4) Y・進行方向と逆向き

第9問

(8点)

リン脂質分子のマイナスやプラスの電荷を持った親水的な頭部を(ア)に、脂肪酸の炭素鎖(疎水的な部分)を(イ)に配置させた脂質二重層膜が細胞膜の基本的な構造となっている。この構造のおかげで O_2 や CO_2 などのガス分子に比べて、糖や尿素などの(ウ)や、マイナスやプラスの電荷を持つ分子は細胞膜を通過しにくい。逆に、(エ)は細胞膜中に自由に入り込めるので、細胞外から細胞内へ浸透しやすい。一般的な薬剤や人工的に合成した化学物質を積極的に細胞内に取り込ませるには、水溶液への溶解度も重要であるが、薬剤や化学物質の疎水性・親水性の違いで細胞内への浸透のしやすさは変わる。

ここでは、細胞膜を通しての水の移動量を調べ、同時に、その移動に関わるチャンネルへの薬剤の効果を調べる実験を念頭において議論する。細胞内外の水の移動を正確に調べるには、卵のような球形の細胞を使用すると便利である。以下の三つの仮定を前提にして、半径 $80\ \mu\text{m}$ の球形細胞を、細胞内の浸透圧より高張な溶液(高張水)、あるいは、低張な溶液(低張水)に浸した後、どのような直径変化をするかを予測したシミュレーション結果を図9-1(実線)で示す。

仮定1：細胞膜を通しての水の移動速度は、膜の表面積に比例する。

仮定2：細胞膜を通しての水の移動速度は、膜内外の浸透圧(塩類の濃度)差に比例する。

仮定3：細胞膜を通しての水の移動の50%はアクアポリンを通しての移動である。

問1

(ア)と(イ)に入る語句として最もふさわしい組合せを次の(1)–(4)から選び、選んだ選択肢の番号を解答欄にマークしなさい。解答欄は

- (1) (ア) 外側 (イ) 内側
- (2) (ア) 外側 (イ) 外側
- (3) (ア) 内側 (イ) 内側
- (4) (ア) 内側 (イ) 外側

問2

(ウ)と(エ)に入る語句として最もふさわしい組合せを次の(1)–(4)から選び、選んだ選択肢の番号を解答欄にマークしなさい。解答欄は

- (1) (ウ) 親水性分子 (エ) 疎水性分子
- (2) (ウ) 疎水性分子 (エ) 親水性分子
- (3) (ウ) 高分子量分子 (エ) 低分子量分子
- (4) (ウ) 低分子量分子 (エ) 高分子量分子

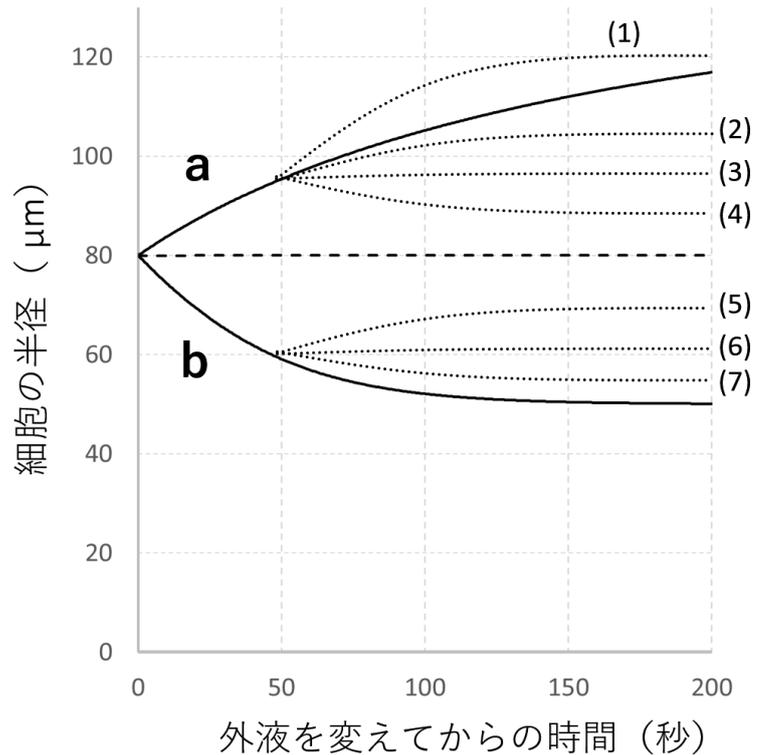


図9-1. 細胞の外液を高張水、あるいは、低張水に交換したあとの細胞半径の変化を示すシミュレーション結果(実線)。点線は、実験開始後、50秒で細胞外液の溶液に薬剤を加えた時のシミュレーション結果を示す。

問 3

細胞を高張水・低張水の溶液に入れた時の半径の変化は、それぞれ、図 9-1 の a、b のいずれか。最もふさわしい組合せを次の (1)-(2) から選び、選んだ選択肢の番号を解答欄にマークしなさい。解答欄は

- (1) 高張水 a、低張水 b
- (2) 低張水 a、高張水 b

問 4

ある水溶性の薬剤 W は、細胞内には浸透しないが、細胞外からアクアポリンにはたらきかけて、その水分子の外向きの輸送のみを阻害する効果があると期待される。実験開始の 50 秒後、薬剤 W を実験液に加えたとする。この時に観察される半径変化として、最初の実験予測（実線）と異なるものは、図 9-1 の (1)-(7) のどれと予測できるか。もっとも近いものを選び、選んだ選択肢を解答欄にマークしなさい。なお、もっとも近いものが複数存在するときは複数の選択肢をマークし、すべての選択肢があてはまると判断した場合は (9) だけをマーク、あてはまるものが無いと判断した場合は (0) をマークしなさい。解答欄は

問 5

ある水溶性の薬剤 X は、細胞内には浸透しないが、細胞外からアクアポリンにはたらきかけて、その水分子の内向きの輸送のみを阻害する効果があると期待される。実験開始の 50 秒後、薬剤 X を実験液に加えたとする。この時に観察される半径変化として、最初の実験予測（実線）と異なるものは、図 9-1 の (1)-(7) の中のどれになると予測できるか。もっとも近いものを選び、選んだ選択肢を解答欄にマークしなさい。なお、もっとも近いものが複数存在するときは複数の選択肢をマークし、すべての選択肢があてはまると判断した場合は (9) だけをマーク、あてはまるものが無いと判断した場合は (0) をマークしなさい。解答欄は

問 6

ある疎水性の薬剤 Y は、細胞内に自由に侵入し、細胞内外からアクアポリンにはたらきかけて、その水分子の外向きの輸送のみを阻害する効果があると期待される。実験開始の 50 秒後、薬剤 Y を実験液に加えたとする。この時に観察される半径変化として、最初の実験予測（実線）と異なるものは、図 9-1 の (1)-(7) の中のどれになると予測できるか。もっとも近いものを選び、選んだ選択肢を解答欄にマークしなさい。なお、もっとも近いものが複数存在するときは複数の選択肢をマークし、すべての選択肢があてはまると判断した場合は (9) だけをマーク、あてはまるものが無いと判断した場合は (0) をマークしなさい。解答欄は

問 7

ある疎水性の薬剤 Z は、細胞内に自由に侵入し、細胞内外からアクアポリンにはたらきかけて、その水分子の内向き・外向き両方の輸送を阻害する効果があると期待される。実験開始の 50 秒後、薬剤 Z を実験液に加えたとする。この時に観察される半径変化として、最初の実験予測（実線）と異なるものは、図 9-1 の (1)-(7) の中のどれになると予測できるか。もっとも近いものを選び、選んだ選択肢を解答欄にマークしなさい。なお、もっとも近いものが複数存在するときは複数の選択肢をマークし、すべての選択肢があてはまると判断した場合は (9) だけをマーク、あてはまるものが無いと判断した場合は (0) をマークしなさい。解答欄は

問 8

図 9-1 で細胞の半径の変化を示す曲線 a の結果から予測される 50 秒間の水の全移動量を計算し、もっとも近いものを以下の (1)-(5) から選んで解答欄にマークしなさい。解答欄は

- (1) $1 \sim 2 \times 10^{-2}$ g
- (2) $1 \sim 2 \times 10^{-4}$ g
- (3) $1 \sim 2 \times 10^{-6}$ g
- (4) $1 \sim 2 \times 10^{-8}$ g
- (5) $1 \sim 2 \times 10^{-10}$ g

下書き用紙
(切り離さずに用いよ)

第10問

(8点)

人の血液は、血漿と呼ばれる液状の基質と、ア細胞成分から構成される結合組織であり、循環血液量は体重の約13分の1を占める。細胞成分には赤血球と白血球の2種類の細胞、さらに巨核球と呼ばれる骨髄細胞の細胞質断片である血小板が含まれている。人の赤血球には酸素を結合するィヘモグロビンが含まれており、酸素の運搬を主な機能としている。この赤血球は成人の場合、血液1 μL あたりに約500万個含まれており、体内を循環する赤血球数は常に一定に保たれている。

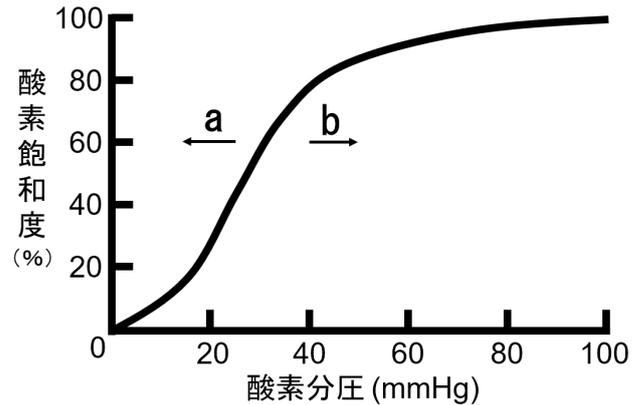


図 10-1. pH7.4 での酸素分圧とヘモグロビン解離

問 1

下線アについて述べた文章 (1)-(5) のうち、間違っている記述をひとつ選び、選択肢の番号を解答欄にマークしなさい。
解答欄は

- (1) 人の血液を入れた試験管を遠心機にかけて成分を分離すると、下層に赤血球、中層に血小板と白血球、上層に血漿が分離される。
- (2) 成人の体内を循環する赤血球には核がない。
- (3) 人の白血球は循環系に加えて、間質液、リンパ系にも局在する。
- (4) 造血幹細胞から分化したリンパ前駆細胞の一部は、胸腺に移動して B 細胞に分化する。
- (5) 血管内皮が損傷を受けると血小板が傷部位に集まり、血小板血栓を作り傷口を塞ぐ。

問 2

下線ィについて述べた文章 (1)-(5) のうち、正しい記述をふたつ選び、選択肢の番号を解答欄にマークしなさい。解答欄は

- (1) 成人が有する赤血球に含まれるヘモグロビン 1 分子あたり、最大 2 分子の酸素を結合する。
- (2) pH の値が低くなると図 10-1 の解離曲線は矢印 a の方向に移動する。
- (3) 体温の上昇はヘモグロビン酸素解離曲線を図 10-1 矢印 b の方向に移動させる。
- (4) 運動時は、細胞呼吸によって酸素が大量に消費されるため、酸素解離曲線は図 10-1 矢印 a の方向に移動する。
- (5) 胎児型ヘモグロビンの酸素解離曲線は母体由来のヘモグロビンの酸素解離曲線よりも左側に寄る。

問 3

上の文章を読んで体重が 78 kg のヒトが 1 日に産生する赤血球数を計算し、(A) にあてはまる整数を解答欄に記入しなさい。なお、赤血球の寿命は 120 日とし、血液 1 L は 1 kg とする。解答欄は

体重 78 kg のヒトが 1 日に産生する赤血球数は (A) 億個である。

第11問

(8点)

発芽直後の植物は重力の方向に根を伸ばし、重力と反対方向に地上部を伸ばしていく。これらの重力屈性と呼ばれる現象にはオーキシンの植物ホルモンが関係している。植物の根は発芽後しばらく経つと重力屈性を示さなくなる。日本の森林で根の分布を観察すると、根は地表から30cmまでの深さに密に分布している(写真)。この森林の場合、数mの深さまで火山灰が堆積していた。また、根は水平方向に伸長していることも観察できる。根の分布する層には土壌有機物が多く含まれており、それより深い場所の土壌には土壌有機物がほとんど含まれていない。

問1

発芽直後の根を水平に置くと根が重力の方向に曲がって伸長する現象の仕組みについて最も適当なものを以下の選択肢(1)-(4)からひとつ選び、選んだ選択肢の番号を解答欄にマークしなさい。解答欄は

- (1) オーキシンの濃度の低い下側が収縮するため、根は重力方向に曲がる。
- (2) オーキシンの濃度の高い下側が収縮するため、根は重力方向に曲がる。
- (3) オーキシンの濃度の低い上側が伸長するため、根は重力方向に曲がる。
- (4) オーキシンの濃度の高い上側が伸長するため、根は重力方向に曲がる。

問2

日本の森林で見られる根の分布を適応の視点から説明するいくつかの説がある。日本の環境には当てはまらないと考えられるものを以下の選択肢(1)-(4)からすべて選び、選んだ選択肢の番号をすべて解答欄にマークしなさい。なお、すべての記述が正しいと判断した場合は(9)を、適切な記述が無いと判断した場合は(0)だけをマークしなさい。解答欄は

- (1) 地表面近くに水が多いため、根は地表面近くに分布するように進化した。
- (2) 地表面近くに窒素などの無機栄養が多いため、根は地表面近くに分布するように進化した。
- (3) 水田と同様、森林土壌の下層には酸素が少ないため、根は地表面近くに分布するように進化した。
- (4) 根が分布する層の下は岩盤となるため、根は地表面近くにしか分布できない。

問3

植物の根が密に分布していることで私達人間が得ている恩恵について適当と思われるものを以下の選択肢(1)-(4)からふたつ選び、選んだ選択肢の番号を解答欄にマークしなさい。解答欄は

- (1) 土壌有機物が土壌微生物の呼吸によって分解されるのを抑制し、大気中二酸化炭素濃度の上昇を防ぐ。
- (2) 無機窒素などを効率的に吸収するため、河川や湖沼の富栄養化が抑えられる。
- (3) 根の分布する層よりも深い場所で起きる地滑りを止めることができる。
- (4) 保水力のある細かい土壌粒子が浸食で失われることを防いでいるため、降水が河川に一気に流出するのを抑えられる。



図 11-1. 日本の典型的な森林で根の分布例.

第12問

(10点)

閉鎖的な空間において2種の生物(種1と種2)が一定のペースで供給される餌資源を利用して生活するとき、それぞれの個体数(N_1 と N_2)の変化率は下記の微分式によって記述される。なお係数 r_i 、 K_i 、 a_i はすべて正の値を取るものとする。

$$\frac{dN_1}{dt} = r_1 N_1 \left(1 - \frac{N_1 + a_2 N_2}{K_1} \right) \quad \frac{dN_2}{dt} = r_2 N_2 \left(1 - \frac{N_2 + a_1 N_1}{K_2} \right)$$

N_i : 種*i*の個体数、 r_i : 種*i*の内的自然増加率、 K_i : 種*i*の環境収容力、 a_i : 種*i*の競争係数

問1

生物の個体数は資源が十分にあるときは増加し、資源が不足すると減少するため、時間経過とともに平衡状態(変化率=0)に到達する。平衡状態にあるときの種1と種2の個体数を表す式(ゼロ等値線)になるように、(あ)から(え)に入る数値の組み合わせとして正しいものを次の(1)-(4)から選び、選んだ選択肢の番号を解答欄にマークしなさい。解答欄は

$$N_1 = K_{(あ)} - a_{(い)} N_2 \quad N_2 = K_{(う)} - a_{(え)} N_1$$

- (1) (あ) 1 (い) 1 (う) 2 (え) 2
- (2) (あ) 1 (い) 2 (う) 2 (え) 1
- (3) (あ) 2 (い) 1 (う) 1 (え) 2
- (4) (あ) 2 (い) 2 (う) 1 (え) 1

問2

図12-1(1)-(4)は、異なる係数条件下での2種のゼロ等値線を示している。各種の個体数はその種のゼロ等値線より下にあるときは増加し、上にあるときは減少する。例えば、点Aに示される2種の個体数は2種のゼロ等値線より下にある限り、時間経過とともに増加する。図12-1(1)の点Pに示される2種の個体数が変化して最終的に取る値を(1)-(4)から選び、選んだ選択肢の番号を解答欄にマークしなさい。解答欄は

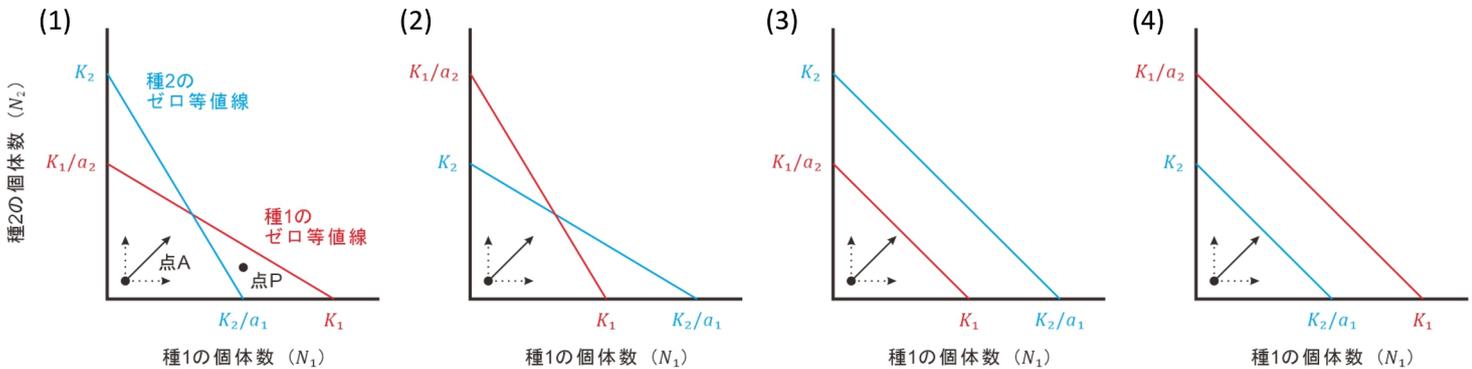


図12-1. ある係数条件下での2種のゼロ等値線

- (1) $N_1 = \frac{a_2 K_2 - K_1}{a_1 a_2 - 1}, N_2 = \frac{a_1 K_1 - K_2}{a_1 a_2 - 1}$
- (2) $N_1 = \frac{K_2}{a_1}, N_2 = 0$
- (3) $N_1 = K_1, N_2 = 0$
- (4) $N_1 = 0, N_2 = 0$

問 3

図 12-1(1)-(4)のうち、種 1 と種 2 がそれらの個体数の初期値に関わらず、共存できる係数条件を示しているものを選び、選んだ選択肢の番号を解答欄にマークしなさい。解答欄は

問 4

今回の数理モデルを参考にして、資源を巡って競争関係にある 2 種について記述した文章として正しいものをすべて選び、選んだ選択肢の番号をすべて解答欄にマークしなさい。なお、すべての記述が正しいと判断した場合は (9) だけをマークし、正しい記述が無いと判断した場合は (0) だけをマークしなさい。解答欄は

- (1) 今回想定した環境下で競争関係にある 2 種が共存する係数条件は $a_1 a_2 < 1$ である
- (2) 競争の優劣は生息環境の影響を受けない
- (3) 自然環境下では競争で劣位となる種が存続することはできない
- (4) 2 種の地理的分布が隣接するとき、資源競争がその側所的分布の原因とは限らない