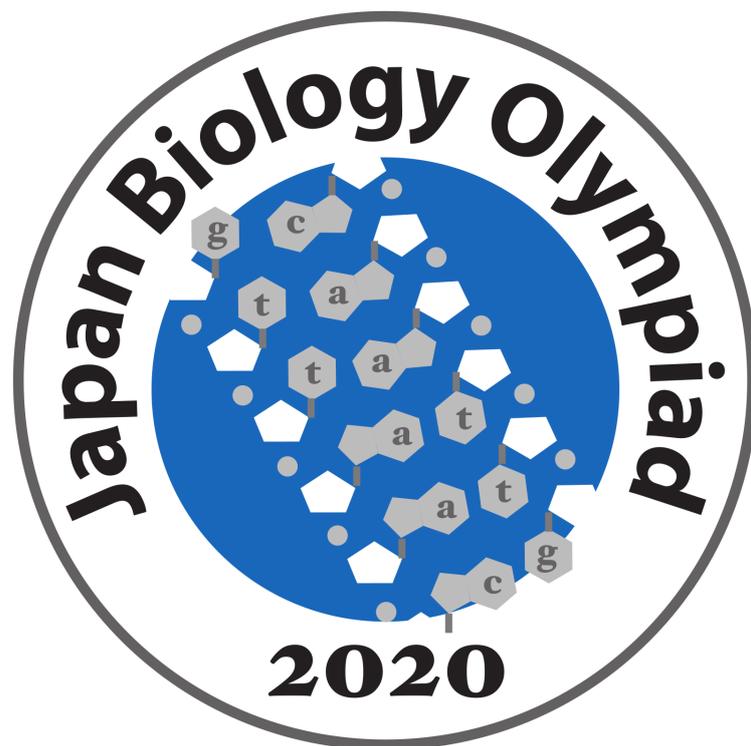


日本生物学オリンピック 2020 代替試験

二次試験

解答と解説



2020年12月20日(日)

配点と正解一覧

問題	解答欄	配点	枝間配点	正解
第 1 問	1	3	-	(1)(2)(4)
第 2 問	2	3	1	(27)
	3		2	(3)
第 3 問	4	5	-	(19)
第 4 問	5	4	-	(19)
第 5 問	6	5	-	(13)
第 6 問	7	3	-	(2)
第 7 問	8	4	-	(1)(2)(3)
第 8 問	9	4	-	(1)
第 9 問	10	4	2	(4)
	11		2	(1)
第 10 問	12	3	-	(3)
第 11 問	13	3	-	(2)(3)
第 12 問	14	4	-	(2)
	15		-	(5)
	16		-	(4)
	17		-	(6)
	18		-	(3)
	19		-	(1)
	20		-	(7)
第 13 問	21	3	-	(12)
第 14 問	22	3	1	(6)
	23		2	(2)
第 15 問	24	3	-	(13)
第 16 問	25	4	-	(1)(4)(5)
第 17 問	26	3	-	(24)
第 18 問	27	4	-	(18)

問題	解答欄	配点	枝間配点	正解
第 19 問	28	4	2	(6)
	29			(1)
	30			(2)
	31		(5)	
	32		2	(2)
	33			(5)
	34			(7)
	35			(3)
	第 20 問		36	3
37		1	(6)	
38		1	(1)	
第 21 問	39	3	-	(6)
第 22 問	40	3	-	(14)
第 23 問	41	3	1	(8)
	42		2	(8)
第 24 問	43	3	-	(6)
第 25 問	44	3	-	(1)(3)
第 26 問	45	3	2	(2)(3)
	46		1	(3)(4)
第 27 問	47	4	1	(1)(2)
	48		1	(3)
	49		1	(1)
	50		1	(2)
第 28 問	51	5	1	(5)
	52		1	(5)
	53			(0)
	54		1	(0)
	55			(2)
	56			(5)
	57		1	(1)
	58		1	(4)
第 29 問	59	4	-	(17)
第 30 問	60	3	-	(4)

(106 点満点)

第1問 解答と解説

1 の【正解】は(1)(2)(4) (3点)

全ての正解項目を挙げた場合は満点、2項目では2点、1項目のみでは1点

(9)および(0)を選択した場合は0点とする。また、(3)(5)(6)の選択肢をマークした場合はそのたびに1.5点の減点とし、下限を0点とする。

【解説】 抗利尿ホルモン（尿細管における尿の再吸収を促進して尿量を減じる）バソプレッシンと、乳腺からの乳汁放出や分娩時の子宮収縮を調節するオキシトシンは、どちらも脳下垂体後葉から分泌される。両者は異なる遺伝子から前駆体として合成されたのち、細胞内で切断を受け、最終的には9つのアミノ酸で構成されたペプチドホルモンとなる。N末側から3番目と8番目のアミノ酸が異なるが、それ以外は同じアミノ酸配列である。どちらも2つのシステインが分子内ジスルフィド結合を形成している。また、多くの生理活性ペプチド同様に、C末カルボキシ基はアミド化されている。非常によく似たペプチドホルモンであるが、異なる受容体に作用することで固有の生理活性を示す。

- (1) 正 分子量の差は、異なる2箇所のアミノ酸（3番目、8番目）の分子量の差である。3番目、8番目のアミノ酸は、バソプレッシンが、F（分子量165.19）、R（分子量174.2）、オキシトシンが、I（分子量131.17）、L（分子量131.17）。従って、バソプレッシンの分子量が大きい。
- (2) 正 塩基性アミノ酸とは、等電点がpH7.0より大きいアルギニン（R）、ヒスチジン（H）、リジン（K）である。バソプレッシンにはRが存在する。
- (3) 誤 N末のシステインは6番目のシステインと側鎖でジスルフィド結合を形成しているが、アミノ基はそのまま存在している。
- (4) 正 側鎖にカルボキシ基を有するアスパラギン酸（D）やグルタミン酸（E）はペプチド中には存在しない。また、C末端のカルボキシ基はアミド化されている。したがって、どちらもその分子中に、カルボキシ基が存在しない。
- (5) 誤 バソプレッシンには側鎖にベンゼン環を有するアミノ酸（Y, F）が2個あるが、オキシトシンにはYが1個のみである。
- (6) 誤 構造異性体の関係にあるアミノ酸2つとは、ロイシン（L）とイソロイシン（I）であり、両者を含むのはオキシトシンである。

第2問 解答と解説

問1

2 の【正解】は(27) (1点)

部分点は無し

【解説】 30番目アミノ酸の分子量が149.21であることから、メチオニン(選択肢番号は(27))であることが推測できる。マスマスペクトロメーターは元来、低分子有機化合物の分子量を決定することでその構造決定に用いられてきた。マスマスペクトロメーターの性能が向上し、幅広い分子量の分子を同時に多数検出することが可能となり、さらにペプチド断片を分取するHPLC(高速液体クロマトグラフィー)と自動連結することで、アミノ酸やペプチドの解析に用いられるようになった。多くの生物種でゲノミクス解析(ゲノムの全遺伝子配列解析)が進んだことから、ペプチドのアミノ酸配列が決定できれば、そのタンパク質が瞬時に同定できるようになり、現在、マスマスペクトロメーターは「プロテオミクス」という研究分野の発展に大きく寄与している。

問2

3 の【正解】は(3) (2点)

部分点は無し

【解説】 タンパク質のアミノ酸変異は遺伝子変異に起因するため、(3)が正解。

フレームシフト変異では多くの場合、変異箇所以降のアミノ酸配列が大きく異なるため(4)は不正解。(1),(2),(5)はいずれも直接遺伝子変異を起こさないので不正解。

トランスサイレチンは127個のアミノ酸で構成されるタンパク質で、主に肝臓で合成され血中に存在する。正常なトランスサイレチンは、甲状腺ホルモン(チロキシン)やビタミンA輸送に関与することが知られている。30番目のバリン(GTG)がメチオニン(ATG)に変異した遺伝子変異が多く報告されている。この遺伝子変異によりアミロイド繊維を形成しやすくなり、アルツハイマー病に代表されるアミロイドーシスと呼ばれる疾患を引き起こすことが知られている。また、野生型トランスサイレチンも加齢によりアミロイド繊維を形成するようになることが知られている。

第3問 解答と解説

4 の【正解】は(19)(5点)

【部分点】(16)(17)(18)(1.5点)、(15)(26)(0.5点)

【解説】まず、常染色体上の遺伝子座について考えてみよう。母親の遺伝子型は R_1R_2 であり、父親の遺伝子型は R_3R_4 であるので、長女と次女の遺伝子型は R_1R_3 、 R_1R_4 、 R_2R_3 、 R_2R_4 の4種類が考えられる。このことから遺伝的血縁度は、つぎの表ようになる。

		母親
		R_1R_2
長女	R_1R_3	50%
	R_1R_4	50%
	R_2R_3	50%
	R_2R_4	50%

		次女			
		R_1R_3	R_1R_4	R_2R_3	R_2R_4
長女	R_1R_3	100%	50%	50%	0%
	R_1R_4	50%	100%	0%	50%
	R_2R_3	50%	0%	100%	50%
	R_2R_4	0%	50%	50%	100%

この結果、母親と長女の間での遺伝的血縁度はすべて50%である。一方、長女と次女の間での遺伝的血縁度は0%、50%、100%の3種類が考えられ、平均すると50%となる。平均でみると、長女と次女の間での遺伝的血縁度は母親と長女の間での遺伝的血縁度に等しい。

つぎに、X染色体上の遺伝子座について考えてみよう。母親の遺伝子型は S_1S_2 であり、父親の遺伝子型は S_3 であるので、長女と次女の遺伝子型は S_1S_3 、 S_2S_3 の2種類が考えられる。このことから遺伝的血縁度は、つぎの表ようになる。

		母親
		S_1S_2
長女	S_1S_3	50%
	S_2S_3	50%

		次女	
		S_1S_3	S_2S_3
長女	S_1S_3	100%	50%
	S_2S_3	50%	100%

この結果、母親と長女の間での遺伝的血縁度はすべて50%である。一方、長女と次女の間での遺伝的血縁度は50%、100%の2種類が考えられ、平均すると75%となる。常染色体上の遺伝子座とは異なり、X染色体上の遺伝子座では、長女と次女の間での遺伝的血縁度は母親と長女の間での遺伝的血縁度より高い。日本の法律では、親と子の関係は1親等であり、兄弟姉妹の関係は2親等である。一方、親と子の間での遺伝的血縁度は50%であり、兄弟姉妹の間での遺伝的血縁度は50%（X染色体上の遺伝子座では75%）である。すなわち、遺伝的血縁度と法律上の血縁度には違いがある。下表は本問題でもちいたモデルに基づいて計算した遺伝的血縁度である。ここでは、ある人（本人）との関係について、法律上の関係と常染色体上の遺伝子座の遺伝的血縁度を示している。

本人との関係	父母	子	兄弟姉妹	祖父母	孫	おじ、おば	甥、姪	曾祖父、曾祖母	ひ孫	いとこ
法律上の関係	1親等		2親等		3親等				4親等	
遺伝的血縁度	50%			25%			12.5%			

第4問 解答と解説

5 の【正解】は(19) (4点)

部分点は無し

【解説】 Pの母親が有する劣性遺伝子 a が F2 に遺伝する確率は $1/4$ である。したがって、F2 がともに保因者である確率は $(1/4) \times (1/4) = 1/16$ となる。F2 がともに保因者であるとき、F3 が劣性ホモになる確率は $1/4$ なので、トータルで X が発病する確率は $(1/16) \times (1/4) = 1/64$ となる（実際は F1 の相手方が保因者の可能性があるためこれより大きいですが、その確率は非常に低いので無視することができる）。一方、F2 が血縁関係のない者と結婚して、その子供が発病する確率は、 $(1/4) \times (1/1000) \times (1/4) = 1/16000$ である。したがって、求める倍率は $(1/64)/(1/16000) = 250$ 倍となる。

倍率を求めることだけなら、つぎのように考えてもよい。血縁関係のある F2 が保因者である確率は $1/4$ であり、血縁関係のない者が保因者である確率は $1/1000$ である。この二者についてそれ以外の要因は同じなので、求める倍率は $(1/4)/(1/1000) = 250$ 倍となる。こちらの解法は簡単ではあるが、他の要因が同じであることを確認する必要がある。

第5問 解答と解説

6 の【正解】は(13)(5点)

【部分点】(12)(14)(15)(17)(24)(0.5点)

【解説】 【解説】 ネコの品種マンクスをヒントにした仮想のネコ変異体に関する問題である。無尾のネコは野生型遺伝子 T と変異遺伝子 M のヘテロ接合体である。無尾のネコどうしを交配したとき、生まれてくる無尾のネコと普通のネコの比率は $2:1$ であることから、変異遺伝子 M は劣性致死遺伝子であることがわかる。すなわち、遺伝子 M のホモ接合体 MM は胚致死であり、生まれてこない。第2世代では、無尾のネコと普通のネコの比率は $2:1$ であり、無尾のネコ (TM) の遺伝子の半分は遺伝子 M であるので、 M の頻度は $1/3$ となる。第2世代の M の頻度は $1/3$ なので、任意交配が行われた場合、第3世代となる接合体は、 $p^2 = 4/9$ (TT 、野生型)、 $2pq = 4/9$ (TM 、無尾ネコ)、 $q^2 = 1/9$ (MM 、胚致死) であり、 M の頻度は $\{(1/2) \times (4/9)\} / (1 - 1/9) = 1/4$ 、 TM の割合は $(4/9) / (1 - 1/9) = 1/2$ となる。ここで、 p は野生型遺伝子 T の頻度、 q は変異遺伝子 M の頻度である。

余談ではあるが、 M の頻度は、第1世代では $1/2$ 、第2世代では $1/3$ 、第3世代では $1/4$ 、と変化していく。このことから、第 n 世代の M の頻度は $1/(n+1)$ と予想される。この予想が正しいことを確かめてみる。第 $n-1$ 世代の M の頻度を $1/n$ とすると、第 n 世代の M の頻度は $(1/2) \times 2 \times (1 - 1/n) \times (1/n) / (1 - (1/n)^2) = 1/(n+1)$ となり、予想が正しいことが数学的帰納法により証明できる。このとき、 TM の割合は、 M の頻度の2倍であり、 $2/(n+1)$ となる。

第6問 解答と解説

7 の【正解】は(2) (3点)

(9) および(0)を選択した場合は0点とする。また、(1)(3)(4)の選択肢をマークした場合はそのたびに2点の減点とし、下限を0点とする。

【解説】 本問は、新型コロナウイルス感染症の原因となる新型コロナウイルス SARS-CoV-2 を題材としたものである。現時点でこの感染症は収束する気配を見せていないが、ただいたずらに恐怖心をあおるのではなく、このウイルスに関する正しい知識を得て、『正しく怖がる』という姿勢でありたい。

- (1) 誤 一般的に、RNA は DNA よりも水に対する親和性が高く、加水分解を起こしやすい。また、DNA における C から T の変化 (二段階の化学反応) よりも、RNA における C から U への変化 (一段階の化学反応) のほうが起こりやすいことが知られている。
- (2) 正 仮にひとつの塩基に変異が入った場合、二本鎖であれば反対側の配列をもとに修復できる可能性がある。一本鎖の場合、そのようなことは出来ない。
- (3) 誤 RNA 鎖を末端から分解するヌクレアーゼがあることから、このウイルスには、複製した自身の RNA 鎖を分解する仕組みが備わっていると考えられる。この仕組みは変異の校正機能に寄与しており、結果として変異速度を下げる要因となる (一般的な生物の DNA 複製機構に備わる、ヌクレアーゼによる校正機能と同様のことが起こると考えられる)。実際に、SARS-CoV-2 のゲノムでは、このようなヌクレアーゼの存在が知られている。
- (4) 誤 ウイルスが宿主に感染する仕組みと、ウイルスが宿主に対して毒性を発揮する仕組みは、互いに独立したものとして考えられる。たとえば、ウイルスが作るタンパク質と宿主細胞が細胞膜表面に提示するタンパク質の結合親和性が高くなるほど、ウイルスの感染力は増すだろう。ウイルス自体が環境変化 (温度、湿度など) に対して耐久性を増せば、感染力は増すだろう。一方で、ウイルスの毒性というのは、感染後に宿主細胞に対してどのような影響を及ぼすかということに依存している。速やかに宿主細胞を破壊するような機能を持ったウイルスは毒性が高いだろうし、多細胞生物であるヒトの生命維持に直結するような細胞に感染し、破壊するウイルスは毒性が高いだろう。言い換えれば、感染力が強いが毒性は弱いというウイルスが存在しても全くおかしくない。
(ただし、同じだけの毒性を持ったふたつのウイルスがあった場合、感染力が強いウイルスのほうが、より社会に対して強い影響力を持つだろう。)

第7問 解答と解説

8 の【正解】は(1)(2)(3)(4点)

部分点は無し

【解説】プラスミド D の制限酵素パターンから、プラスミド D は目的とするプラスミド C の形に構築されていないことがわかる。目的通りにプラスミド C が構築されていれば、これを制限酵素 *EcoR* I、*Xho* I のふたつで処理した後に電気泳動すると、『2845, 1600, 400, 150 (bp)』というバンドパターンになるはずである。

一方で、*Xho* I と *Sal* I の認識配列は互いに異なるが、その突出末端は全く同じ配列となる。従ってこれらの断片が混在した溶液に DNA 連結酵素を反応させると、両者は連結する。かつ、このような連結をした場合、連結箇所は *Xho* I でも *Sal* I でも切断されない。これらを合わせると、『まず、プラスミド B に対する制限酵素の反応が甘く、*Sal* I で切れずに *Xho* I だけで切断された。さらにそれに対して、プラスミド A から *Xho* I、*Sal* I で切出された遺伝子（白抜き矢印）が連結し、それがプラスミド D として単離された』と考えるのが妥当である。プラスミド A、プラスミド B とともに、このようにして出来たプラスミド D の構造を図解説 7-1 に示す。白抜き矢印で示した遺伝子が挿入される向きにも注意が必要である。実は図解説 7-1 で示した以外にも、まだ他にプラスミドが取りうる構造はいくつかあるが、ここでは割愛する。

なお、*Xho* I と *Sal* I で完全に切断されたプラスミド B を用いた場合、図解説 7-1 のように、プラスミド C 以外にもプラスミド G が生じる可能性がある。同様に、*Xho* I の反応が不十分で *Sal* I のみで切断されたプラスミド B を用いた場合、プラスミド E とプラスミド F が生じる可能性がある。*Sal* I の反応が不十分で *Xho* I のみで切断されたプラスミド B を用いた場合、プラスミド D とプラスミド H が生じる可能性がある。プラスミド F とプラスミド H はプラスミド C と酷似しているが、それぞれ白抜き矢印で示した遺伝子とプラスミドがつながる領域（つなぎ目の周辺）に、プラスミド C との違いが生じる。

- (1) 正 電気泳動の結果より、プラスミド D は *EcoR* I で切断されていることが分かる。
- (2) 正 解説文の通り、プラスミド D には *Sal* I 認識部位が残っている。
- (3) 正 電気泳動の結果より、プラスミド D は *Xho* I で切断されていることが分かる。
- (4) 誤 目的とするプラスミド C の形に構築されていれば、*Xho* I、*Sal* のふたつの酵素を同時に反応させると、約 2,000bp の DNA 断片が切り出される*1。プラスミド D の形では、そのような断片は生じない。
- (5) 誤 カナマイシン耐性遺伝子さえプラスミドに保持されていれば、大腸菌はカナマイシン入りの培地でも生育する。プラスミドが組込まれた大腸菌がカナマイシン入りの培地でも生育することは、目的とするプラスミドが構築されていることに対して必要な条件であるが、これを根拠に目的物が得られたと判断するのは、十分ではない。
- (6) 誤 電気泳動の結果から、目的するプラスミド C の構築がうまく行っていないことが示唆される。

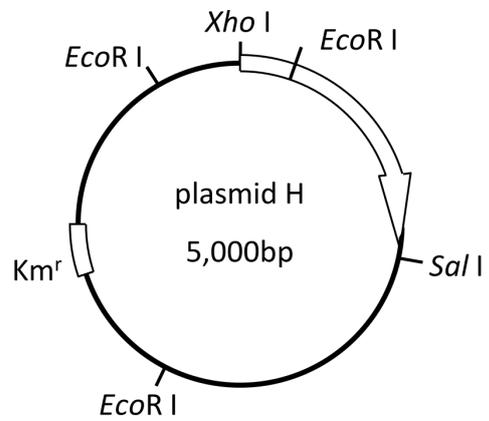
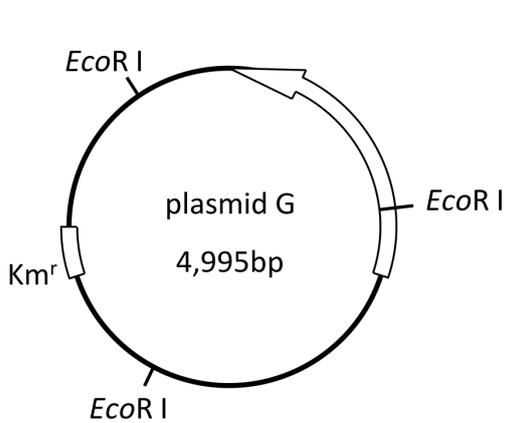
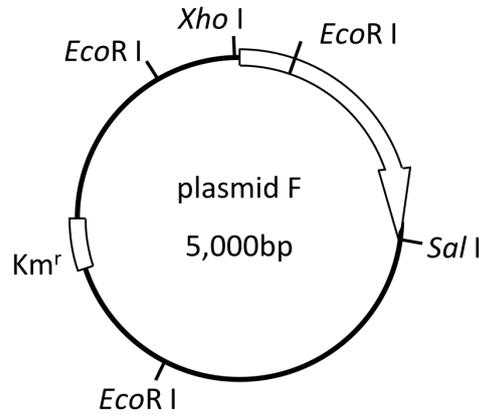
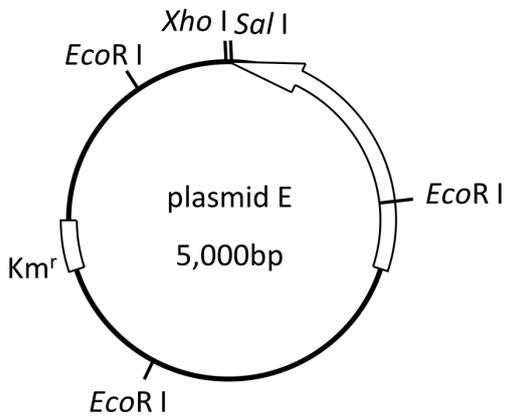
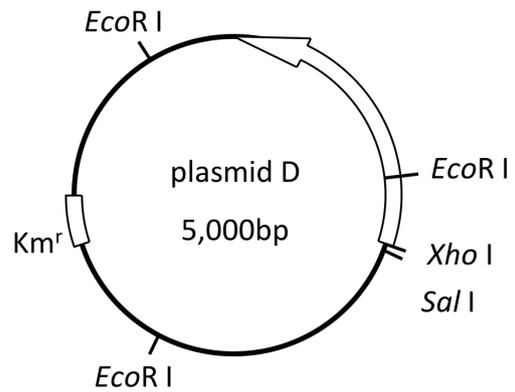
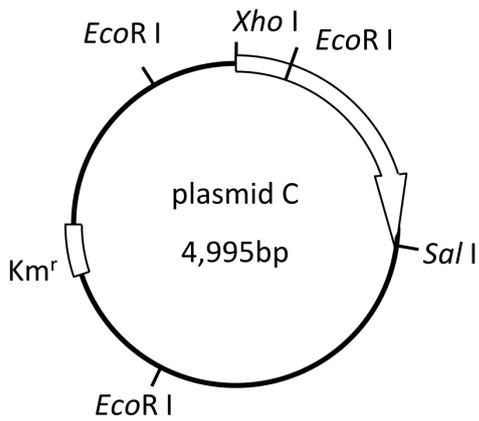
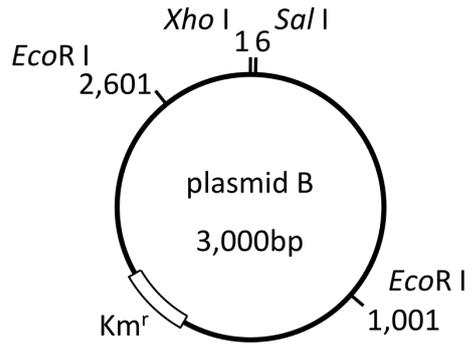
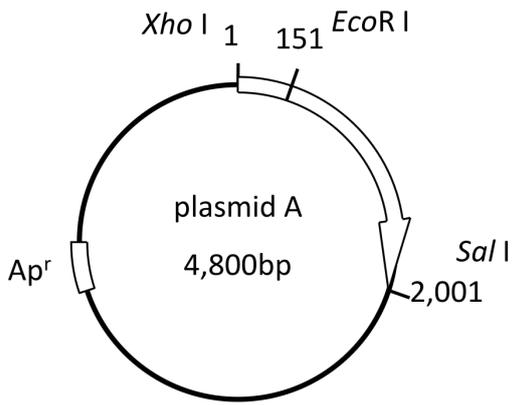
問題の解答形式として、図解説 7-1 のような模式図を選択肢とし、その中から選んでもらうことも検討したが、それだと最初にヒントを伝えてしまうことにつながると思い、今回のような正誤問題とした。ただし、正誤問題とすると、プラスミド D の構造を正しく導かずとも部分点が取れる可能性が生じる。従って、正答のみ満点とし、それ以外の解答は 0 点とした。

本問は、制限酵素と連結酵素を利用して目的とするプラスミドを構築しようと試みるものであり、実際の研究室では『サブクローニング』と呼ばれる作業である。どんな実験でも、実際の作業に移る前に実験計画を練ることが必要であるが、それでも計画通りに実験が進行しないことがある。今回のように、思うように DNA が制限酵素で切れないということも、意外と遭遇することである。

なお、実際のクローニングやサブクローニングの際に今回のような *Sal* I と *Xho* I の組合せを用いるのは、実験計画として望ましくないのは明白であろう。仮に両者で完全切断されても、切断部位の末端配列が同一なため、他の DNA 断片を取り込むよりも自身で結合する*2 確率のほうが圧倒的に高く、このままでは、そう簡単には目的とするプラスミドを得ることが出来ないだろう。どうしてもこの制限酵素の組合せで実験しなければならない場合、研究室ではどのような作業を加えているか、興味があれば調べてみると良い。

*1 本問では DNA の塩基を数える単位として『bp (塩基対)』が用いられているため、制限酵素で切断された後の突出末端は bp と呼ぶのか、突出末端を除くと 2,000 とならないのではないか、などの疑念を払拭するために『約』という言葉を用いた。1,600 を四捨五入すると 2,000 ではないのか、などの申し出には応じない。それよりも、正しくプラスミド D の構造を推論するのが先決である。

*2 セルフライゲーションと呼ぶ。



図解説 7-1. 本問で想定される様々な形のプラスミド DNA

第8問 解答と解説

9 の【正解】は(1) (4点)

(1)のみ選んだときに4点、(1)(2)、(1)(3)、(1)(4)としたときは2点、(0)を選んだときは2点、それ以外は0点とする。

【解説】細胞分裂の制御因子に関する研究は、アフリカツメガエル卵やイトマキヒトデ卵を用いて、問題文にあるような移植実験が盛んに行なわれてきた。その結果、サイクリン B と Cdk1 の複合体が減数分裂および体細胞分裂で共通した M 期誘導因子であることが明らかにされた。

しかし一方で、問題文にあるように Cdk1 だけでは不十分ではないかという事例が明らかになった。これらの結果は M 期誘導因子として Cdk1 以外の核内物質の重要性を示唆するものである。

まず「核内物質と細胞質を混ぜても、Cdk1 の活性は上昇する」ことから、核内物質と細胞質内の物質を核膜で隔てて分けることによって M 期移行が抑制されていることが示唆される ((1) は正しい)。「卵母細胞の段階で物理的に核を除いた卵(除核卵)にホルモン処理を行なっても、正常卵と同レベルの Cdk1 の活性が得られる」ということから、核内因子が存在しなくても、ホルモンがあれば十分に Cdk1 が活性化し、M 期に移行することがわかる ((4) は誤り)。

グレートウォールキナーゼ (Gwl) は Cdk1 に遅れて活性化することから、Cdk1 の下流で活性化されることが示唆される。これと一致して、Cdk1 の活性化を阻害した際に Gwl は活性化しない ((2) は誤り)。また Cdk1 の活性があり Gwl が存在していると卵母細胞は M 期に移行することから、Gwl は Cdk1 の活性を正に制御していると示唆される。これに加えて、Cdk1 はサイクリン依存性キナーゼ 1 の略称であり、その名が示す通りにサイクリンがないと活性化しないので、(3) は誤り。

以上より、正しい記述は(1)。

第9問 解答と解説

刺激から遺伝子発現に至る過程では、一般に多くのタンパク質がかかわる。このとき、タンパク質は他の特定のタンパク質等を活性化あるいは抑制する。これらの組み合わせによって、そのネットワークが外部刺激に対してどのように応答するかが決まる。

この問題では X から Z に向かう直接的なパスと Y を経由した間接的なパスを持つ、フィードフォワードループと呼ばれるネットワークを題材とした。ネットワーク 1 ではすべてのパスが正の制御（活性化）であるが、ネットワーク 2 では Y から Z へのパスが負の制御（抑制）である。またネットワーク 1 では、「遺伝子 X1 もしくは遺伝子 Y1 の変異体では、遺伝子 Z1 の発現は起こらない」とあるように、X と Y の両方がある初めて Z の発現が誘導される（論理関数 AND として考える）。一方、ネットワーク 2 では「タンパク質 X2 のみで遺伝子 Z2 の発現が起こる」。

つまり、ネットワーク 1 では刺激後にタンパク質 Z の翻訳が起こるまでに、タンパク質 X だけではなく、タンパク質 X の合成後に起こるタンパク質 Y の合成を待つ必要がある。対してネットワーク 2 ではタンパク質 X があれば、遺伝子 Z の転写が開始する。

問 1

10 の【正解】は (4) (2 点)

部分点は無し

【解説】 転写・翻訳には時間を要するため、刺激からタンパク質 Z の合成が検出されるのは、2 段階のタンパク質合成を経るネットワーク 1 よりも、ネットワーク 2 の方が早い。従って、(ア) の正解は「遅い」となる。

またネットワーク 1 ではすべて正の制御なので、全体として刺激に反応して Z は増える方向にはたらくが、ネットワーク 2 では Y が蓄積すると Z の発現は抑制される。従って、(イ) の正解は「ネットワーク 2」となる。

問 2

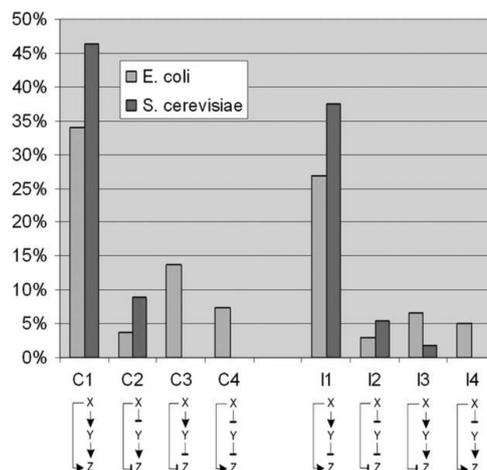
11 の【正解】は (1) (2 点)

部分点は無し

【解説】 外部刺激への反応が遅いことは、生物として一見不利に思えるかもしれないが、生体内にはノイズ刺激も多い。

一過的な刺激（ノイズ）に影響されにくいのは、刺激への反応が遅いネットワークである（正解はネットワーク 1）。

ちなみに、X、Y、Z の 3 種類の要素で構成されるフィードフォワードループには、それぞれの制御関係に活性化もしくは抑制の 2 通りが考え得るので、図解説 9-1 に示したように、合計 8 種類のタイプがある。実際に酵母 (*S. cerevisiae*) と大腸菌 (*E. coli*) の転写ネットワークで、8 つのタイプの相対的な多さ (%) を調べると、図解説 9-1 に示した通り、出現頻度が高いものと低いものがあることがわかっている。なぜある種のフィードフォワードループが稀にしか現れないのかの説明は、紙面の都合上割愛するが、詳しく勉強したい人には、参考書としてシステム生物学入門 (Uri Alon 著・共立出版) をお勧めする。



図解説 9-1. ささまざまなフィードフォワードループと、その相対的な多さ。Mangan et al., 2006 より引用

第10問 解答と解説

12 の【正解】は(3) (3点)

(9) および(0)を選択した場合は0点とする。また、(1)(2)(4)の選択肢をマークした場合はそのたびに2点の減点とし、下限を0点とする。

【解説】 変異型アリルは有害なため集団から除去されるはずなのに、なぜマラリアの地域でだけ除去されないのかを考える。これは超優生という現象である（キャンベル第11版、pp. 411, 578を参照のこと）。

- (1) 誤 ヘテロでもつヒトの死亡する確率は約半分ではなくほぼゼロに等しくなる。また、この文章では、マラリア発症地域でのみ変異型アリルが除去されない理由を説明できない。
- (2) 誤 変異型アリルをホモで持つ場合はマラリアに感染してもやはり鎌形赤血球症になる。
- (3) 正 ヘテロの場合は鎌形赤血球症で死亡する確率はほぼゼロに等しくなり、さらにはマラリアで死ぬ確率も小さくなる（鎌形になった赤血球とその内部のマラリア原虫が同時に破壊されるため）
- (4) 誤 一般的に変異の蓄積する確率が変わることはない

第11問 解答と解説

13 の【正解】は(2)(3)(3点)

全ての正解項目を挙げた場合は満点、1項目のみでは1点とする。

(9)および(0)を選択した場合は0点とする。また、(1)(4)の選択肢をマークした場合はそのたびに1.5点の減点とし、下限を0点とする。

【解説】

- (1) 誤 ヒトとチンパンジーの共通祖先で非感受性アリルが存在していた場合は、C(非)のアリルとH(非)のアリルが系統樹上でまとまると予想されるが、そうなのはならず、むしろチンパンジーの(非、感)とヒトの(非、感)のアリルがそれぞれまとまっているので、PTCの非感受性はチンパンジーとヒトが分岐した後に、それぞれのグループで生じたものであることを示している。
- (2) 正 一般的に、味覚は生存のために摂取しても良いものか判断する指標として獲得された形質であると考えられる。
- (3) 正 C(非、感)とH(非、感)がそれぞれまとまっているということは、チンパンジーとヒトのそれぞれにおいて非感受性が独立に生じたことを意味する
- (4) 誤 それぞれの系統樹のより基部に位置するアリルが感受性なので、感受性アリルの一部から非感受性が生じたと考えられる

この問は、**第10問**と同様に、自然選択によって集団中に多型が維持される可能性(平衡淘汰)を議論したものである。チンパンジーにもPTC感受性と非感受性の個体が存在する事実が1939年のNature誌に掲載された事により、このPTCの感受性と非感受性の多型がヒトとチンパンジーの共通祖先の頃にはすでに存在し、それが平衡淘汰によって維持されてきたと考えられた。しかし、2006年のPTC受容体遺伝子の解析により、PTC非感受性アリルが、ヒトとチンパンジーのグループでそれぞれ別個に誕生していることが明らかとなり、PTC感受性と非感受性は、ヒトとチンパンジーの共通祖先の頃から維持されているわけではないことが明らかとなり、1939年に提唱された仮説は60年以上も経ってから否定されることになった。

(文献)

Fisher, Ford & Huxley (1939) *Nature*

Wooding et al. (2006) *Nature*

第12問 解答と解説

14 の【正解】は(2)

15 の【正解】は(5)

16 の【正解】は(4)

17 の【正解】は(6)

18 の【正解】は(3)

19 の【正解】は(1)

20 の【正解】は(7)

14、15 は順不同

19、20 は順不同

全問正解で4点、部分点は無し

【解説】 これは SINE 法と名付けられた系統樹構築法のひとつ。日本の研究グループにより開発されたものである。ある遺伝子座における SINE 挿入パターンを最節約的に処理することで、系統樹を推定する。DNA 配列やアミノ酸配列の解析による系統樹推定と比較すると、同じサイトに起こる戻し置換や繰り返し置換を考慮する必要がなく、複雑な統計処理を必要としないのが最大の特徴・利点である。クジラの系統樹構築に利用され、その当時の論争解決に一役買った。

(文献)

Shimamura et al. (1997) *Nature*

Nikaido et al. (1999) PNAS

第13問 解答と解説

21 の【正解】は(12)(3点)

部分点は無し

【解説】分岐学はドイツの昆虫学者ヘニッヒにより提唱された系統学的手法である。分岐学では派生形質の共有に基づいて系統を推定し分類群（種、属、科など）を設定するため、共有派生形質でまとめることのできる単系統群（祖先種とそのすべての子孫で構成されるグループ）のみを分類群として認める。一方、分岐学では側系統を分類群として認めないため、我々の良く知っている系統群が分類体系から消えてしまうという問題が生じる。例えば、鳥類を独立した分類群として認めるとカメ、トカゲ、ワニなどのハ虫類は側系統群になってしまうため、ハ虫類は分類群としては認められない。同様に魚類も四足動物との関係で側系統となり、魚類も分類体系から消えてしまうことになる。

さて、分岐学的手法に従うと、まずアとイは共有派生形質数3で最も多いため、これらを姉妹群としてまとめる。

	ア	イ	ウ	エ
ア	-	3	1	0
イ		-	1	0
ウ			-	0
エ				-

次にアイと残りを比較するとウのみがひとつの派生形質を共有するため、アイとウを次の姉妹群としてまとめる。

	アイ	ウ	エ
アイ	-	1	0
ウ		-	0
エ			-

このように次々と派生形質の共有数に基づいて姉妹群を形成していくことで系統が推定される。

第14問 解答と解説

22 の【正解】は(6) (1点)

部分点は無し

23 の【正解】は(2) (2点)

部分点は無し

【解説】無機塩類の輸送経路には、アポプラストを通る経路と、シンプラストを通る経路が存在する。細胞壁は全透性であるため、アポプラスト区画では無機塩類も水分も自由に移動可能である。疎水性のスベリンを主な構成成分とするカスパー線は、内皮細胞の周囲をリング状に取り囲んでいる構造で、アポプラスト区画の水分と無機塩類の輸送障壁としてはたらいている。そのため、アポプラスト区画の無機塩類は、内皮細胞内部に選択的に取り込まれた後にシンプラストを経由して道管へと輸送される。この仕組みは、変動する土壌環境の影響を受けることなく、安定的に無機塩類を取り込むうえで、植物には重要な仕組みである。輸送障壁が不十分な植物では、物質輸送は受動的になり、土壌環境の影響を直接受けることになる。鉄イオンは植物の生育にとって重要な土壌成分であるため、グラフ(3)のように野生型植物において全く取り込まれない事態は、生育の不良を招くことにつながる。この輸送障壁を利用して物質を選択的に取り込む仕組みは、変動する土壌環境の影響を受けることなく、植物が生育に必須な無機塩類を安定的に取り込むうえで重要な仕組みである。

第15問 解答と解説

24 の【正解】は(13)(3点)

部分点は無し

【解説】植物細胞は固い細胞壁によって囲まれており、内側から膨圧によって支えられている。植物細胞が大きくなる時には、細胞が吸水することで膨圧が増加する。多くの植物細胞では細胞壁を構成するセルロース繊維の配向に異方性があり、細胞壁の強度が弱い場所や強度的に弱い方向が存在するため、内部からの圧力に応じて異方的な細胞伸長が起きる。これは根や胚軸の長細い細胞や葉のジクソーパズル様の凹凸を持つ細胞の形成メカニズムである。なお細胞全体の細胞壁が同じ強度を持っている場合、植物細胞は等方向に膨らみ、丸い細胞ができる。ソルビトールは一般的な動植物細胞では代謝に用いられない糖であり、浸透圧に関する実験に良く用いられる。通常の植物育成培地に高濃度のソルビトール(0.4 M Sorbitol)を加えると、植物細胞は吸水することができず膨圧も生じない。

また根毛や花粉管も細胞壁強度と膨圧によって細胞伸長が起きるが、根毛や花粉管にはセルロース繊維が少なく、先端成長という異なる伸長メカニズムを持っている。そのためセルロース合成酵素阻害剤を処理した時には、主根や側根の伸長は阻害されるが、根毛の成長は見かけ上、正常である。

オーキシンやジベレリンなどの植物ホルモンも細胞伸長の制御と密接に関係しているが、必要とされる濃度や作用は組織によって異なるため、本問題の解答として適切ではない。一般的に根でのオーキシンの増加は伸長阻害を引き起こすことが知られている。例えば、根を重力に対して水平に置くと屈地性を示すが、この時には細胞伸長が促進される根の上側ではオーキシン濃度が低くなり、逆に細胞伸長が阻害される根の下側ではオーキシン濃度が高くなっている。ジベレリンの増加は茎の細胞伸長を促進するが、根の細胞伸長は促進しない。

第16問 解答と解説

25 の【正解】は(1)(4)(5) (4点)

全ての正解項目を挙げた場合は満点、2項目では2点、1項目のみでは0点

(9) および(0)を選択した場合は0点とする。また、(2)(3)の選択肢をマークした場合はそのたびに1.5点の減点とし、下限を0点とする。

- (1) 正
- (2) 誤
- (3) 誤
- (4) 正
- (5) 正

【解説】 多くの植物は食害により化学防御物質を蓄積し始めることが知られている。ダイコンやワサビなどのアブラナ科植物にはグルコシノレートと呼ばれる辛味成分の前駆体が含まれる。食害によりグルコシノレートの含有量が増えることが知られている。

植物が蓄積する毒物の大半は光合成から得られたグルコースなどの炭素化合物を基として合成されており、マンガン、銅、ホウ素などの微量元素を含む毒物は少ない。食害を受けない場合、光合同化物は植物の成長に用いられる。そのため、植物にとっての毒物蓄積は植物の環境応答の一種と言える。

植物が合成する毒物の中には、植物自身の代謝を阻害するような毒物が含まれる場合がある。そのため多くの毒物はオルガネラ内や細胞外分泌顆粒に隔離されている。液胞は植物の最も大きなオルガネラであり、様々な毒物の貯蔵場所になっていることが知られている。

物理的防御に用いられるトゲは進化の過程で獲得されて遺伝する形質であるが、一部の植物では食害の有無に対応して、トゲの有無や数に変化する。植食者である虫が植物を食べると、植物からは揮発性物質が多く放出され、その香りを手掛かりに捕食者である天敵が引き寄せられることが知られている。

第17問 解答と解説

26 の【正解】は(24) (3点)

【部分点】(25) (0.9点) (18)(26) (0.3点)

【解説】今から半世紀ほど前、長田と建部はタバコの葉からプロトプラストを単離し、1細胞起源のプロトプラストを分裂させ、カルスを誘導し、完全な植物体の再生に世界で初めて成功した(文献1)。これは植物の体細胞が分化全能性を示すことを実証した日本発の研究として有名な研究成果である。現在でも、プロトプラストは、クローン個体作出や細胞融合、遺伝子組換えなど、植物バイオテクノロジーや植物科学研究でよく利用されている。

細胞膜に囲まれた原形質が細胞壁から離れるか離れないかの状態を限界原形質分離という。問題文より、この細胞では、6%スクロースのときに限界原形質分離を示すことがわかる。細胞壁から離れたプロトプラストは、6%よりも高い濃度のスクロース液に入れられた場合には、細胞内の水が外に出てプロトプラストは張りを失う。一方、プロトプラストは、6%よりも低い濃度のスクロース液に入れられた場合には、細胞内に水が浸透し、膨らみ破裂する。プロトプラストを調整する場合、細胞自身よりもやや高張の溶液を準備し、その中で作業するのが一般的である。

具体的な調整作業の一例としては、問題文にあるように葉の表皮をはがし、カミソリの刃をもちいて細かく切り刻む。その裁断組織を細胞壁を溶かす酵素溶液に浸し、室温でしばらく静置する。プロトプラストは1細胞から1個または2個えられることが多く、植物の細胞サイズから考えて50 μm の大きさの穴をもつフィルターでろ過し、プロトプラストと未消化の細胞や破碎組織断片と分ける。プロトプラストは細胞壁をもたず、低張液にさらされると瞬時に破裂する。細胞壁分解酵素としては、細胞壁成分であるセルロースやペクチンを分解するセルラーゼやペクチナーゼが市販されており、これらがもちいられているが、カタツムリの消化液を取り出し、もちいられていたこともあった。酵素溶液から細菌やカビの混入を避けるためには、これらよりも小さいサイズの穴をもつフィルターをもちいることが多い。典型的な細菌は直径が1~5 μm であり、用途に応じてフィルターを使い分け、実験を進めている。

(文献1) Nagata, T., Takebe, I. Plating of isolated tobacco mesophyll protoplasts on agar medium. *Planta* 99, 12-20 (1971). <https://doi.org/10.1007/BF00392116>

第18問 解答と解説

27 の【正解】は(18) (4点)

【部分点】(19)(24) (1.2点) (12)(23) (0.4点)

【解説】生き物を取り扱う限り、数値データのばらつきは必ずあるもので、それが意味のある差であるのかどうかの判断が必要となる。このような場合は、統計処理をして判断することが多い。また与えられた表をグラフ化して考えることも、ときには事象の理解の助けになる。本問題では平均値と標準偏差をみて直感的に判断できる範囲での考察を問うている。与えられた平均値の比較だけでは、その差にどれくらいの意味があるのかわからないことが多い。そのときに標準偏差を指標にデータのばらつきを推測することができる。

野生型において、アブシシン酸の前処理を20分以上した場合において、細胞の生存率は80%以上に回復しているが、5分の前処理では、アブシシン酸処理をしなかった場合とくらべてほとんど差がない。したがって、20分以上の前処理で塩ストレス耐性が誘導されると推測される。

変異体 x では、100分のアブシシン酸の前処理でも生存率に回復の傾向がみられなかった。したがって、この遺伝子は塩ストレス耐性に必須であると推測される。本実験ではアブシシン酸の前処理を100分より長時間行った場合のNaCl耐性については調査していない。そのため100分を超える長時間の前処理を実施すれば結論が変わる可能性は残るものの、問題で示された実験結果からは、この遺伝子は塩ストレス耐性に必須ではないと推測することはできない。

変異体 y では、アブシシン酸の前処理を100分することで耐塩性が獲得されている。つまり、この遺伝子が変異したことにより、耐塩性の獲得時間が遅れたことを示している。したがって、この遺伝子は、アブシシン酸依存的な耐塩性獲得に関与しており、特にその初期における応答に重要な機能を有しているものだと推測される。

第19問 解答と解説

28 の【正解】は(6)

29 の【正解】は(1)

30 の【正解】は(2)

31 の【正解】は(5)

以上、すべて正解で2点

部分点は無し

32 の【正解】は(2)

33 の【正解】は(5)

34 の【正解】は(7)

35 の【正解】は(3)

以上、すべて正解で2点

部分点は無し

【解説】 昆虫類はこれまでに約100万種が知られている大きなグループで、陸上と淡水の多様な環境で繁栄している。いっぽう、海に生息する昆虫はアメンボの仲間など少数の分類群に限られる。昆虫類の体は頭部、胸部、腹部からなり、胸部に3対の脚をもつことは良く知られるが、これに加えて胸部に2対の翅をもつことに着目されたい。節足動物の中で翅をもつのは昆虫類のみである。翅の獲得は昆虫の多様化に大きな役割を果たしたと考えられているが、その起源については議論がある。

さて、本問は昆虫の内部形態と機能に関する基本的な問題である。心臓(①)は背側に位置し、開放血管系に血リンパを送る。これに対し神経索(②)は腹側に位置する。消化管は口から体の内部中央を走り、後末端に開く肛門につながる。マルピーギ管(④)は消化管から膨出した器官で、代謝老廃物を血リンパから除去したり、浸透圧調節の機能をもつ。この図には生殖腺、気管は図示されていないが、それぞれガス交換および生殖細胞の生産・放出の機能をもつ。脊索は脊索動物門だけがもつ構造であり、昆虫を含む節足動物門には存在しない。

第20問 解答と解説

36 の【正解】は(5) (1点)

37 の【正解】は(6) (1点)

38 の【正解】は(1) (1点)

【解説】膵臓で産生、分泌されたアミラーゼ等の酵素は膵液として小腸（十二指腸）に送られてタンパク質や炭水化物を分解する一方で、ペプシンは胃底腺から分泌されて胃でタンパク質を分解する。胆汁酸塩は肝臓で産生され、胆嚢で貯蔵・濃縮されたのち、小腸（十二指腸）に放出され、脂肪の乳化を行う。

ヒトの膵臓は、インスリンなどの内分泌腺としての役割と、膵液を分泌する外分泌腺としての役割を担う。膵液は、複数の消化酵素を含むが、その多くは活性を持たない前駆体として分泌され、その後、消化管内で活性をもつ形に変化する。問2のキモトリプシンは膵臓では活性をもたない前駆体のキモトリプシノーゲンとして分泌され、小腸の一部である十二指腸においてエンテロキナーゼやトリプシンといったタンパク質分解酵素により部分的に分解されて活性をもつキモトリプシンとなる。同じく膵臓から分泌されるトリプシノーゲンも同様の機構により十二指腸で活性化され、このような機構により膵臓自体が産生する分解酵素によって自己消化するのを防いでいる。もし、何らかの原因によって膵臓内で分解酵素が活性化されてしまうと、膵臓が自己を消化して急性膵炎などを生じることがある。

分解されたアミノ酸や糖は小腸の吸収上皮細胞に吸収されたのち、毛細血管に入って血流によって肝臓へと移動する。脂肪は小腸でリパーゼの作用により脂肪酸とモノグリセリドに分解されて吸収上皮細胞に吸収されたのち、細胞内でトリグリセリドに再構築される。再構成されたトリグリセリドはリン脂質、コレステロール、タンパク質とともにキロミクロンとよばれる可溶性の小球を形成して上皮細胞からリンパ管へ輸送され、最終的には大静脈に運ばれる。

第21問 解答と解説

39 の【正解】は(6) (3点)

部分点は無し

【解説】

出題内容に類似した実験は哺乳類の血中グルコース量の調節能力を評価するために実際に行われる。この問題の各実験結果から以下の事が読み取れる。

- 実験① 野生型、変異型ともにグルコースを注射すると血中グルコース量が注射後 15 分をピークに上昇し、その後低下するが、変異型は上昇する値が大きく、注射後の低下も鈍い。
- 実験② グルコース注射後の血中インスリン量は注射後数分でピークとなりその後注射前の量まで低下する。この血中インスリン量の値と経時的な変化は野生型と変異型で明確な違いはない。
- 実験③ 野生型マウスではインスリンを注射すると血中グルコース量は 60-90 分後をピークに減少しその後回復する。変異型ではインスリンを注射しても血中グルコース量に明確な変化は認められない。
- 実験④ インスリンを産生、分泌する細胞である膵島細胞におけるインスリン遺伝子の発現量（転写量）は野生型と変異型で違いはほとんどない。

実験①から機能欠失により血中グルコース量が増えるので、タンパク A の機能は「血中グルコース量を低下させる」とどと分かる。そのため、(1)、(3)、(5)、(7) は除外できる。実験②の結果で血中インスリン量に差がないので、変異型マウスでインスリンの分泌量が下がったり、異常に分解されたりすることでインスリンによる血中グルコース量の低下が損なわれているわけではないと判断できる。また、実験③からインスリンを直接注射しても変異型マウスの血中グルコース量は低下しなかったため、正常なインスリンが十分存在してもその機能が発揮されない状態になっていると考えられる。さらに実験④から、インスリン遺伝子の発現は野生型と変異型とで差がなく、インスリン遺伝子の転写、翻訳にタンパク質 A は関与していないと考えられる。

インスリンの分泌阻害と分解促進は実験②で、遺伝子発現の阻害は実験④で除外でき、実験③からインスリンが持つ血中グルコース量の調節能自体が失われている事が考えられるため、選択肢 6 の「インスリンとその受容体の結合を調節して血中グルコース量を低下させる」が最も可能性が高い。もし受容体と結合できずインスリンの影響を受けるべき細胞にそのシグナルが伝えられないとしたら、正常なインスリンが十分存在してもその機能が発揮されない原因を説明できる。

ヒトでは、インスリンの分泌低下などによって血中のグルコース量（血糖値）の調節が正常に起こらない疾患として糖尿病が挙げられるが、インスリン受容体が十分機能しないことも糖尿病のような症状を引き起こすことが考えられる。

第22問 解答と解説

40 の【正解】は(14)(3点)

【部分点】(15)(26)(0.9点) (18)(19)(25)(0.3点)

【解説】桿体細胞のロドプシンは500 nm 付近の波長の光をもっともよく吸収するので、(イ)はロドプシンである。青色光、緑色光、赤色光のうち、青色光がもっとも波長が短く、赤色光がもっとも波長が長いので、吸収スペクトルの最大値の波長がもっとも短い(ア)が青錐体細胞に含まれる視物質であり、最大値の波長がもっとも長い(エ)が赤錐体細胞に含まれる視物質である。その間の(ウ)は緑錐体細胞に含まれる視物質である。

第23問 解答と解説

41 の【正解】は(8) (1点)

部分点は無し

42 の【正解】は(8) (2点)

部分点は無し

【解説】 生体では通常、活動電位は樹状突起や細胞体で発生し、軸索を伝導し、シナプスを介して次の神経細胞に一方方向に興奮が伝達される。

問1

(a) では刺激 A により生じた活動電位は電極 b 及び c の位置に伝導し、さらにシナプスを介して電極 d の位置に伝達される。

問2

閾値を超える刺激を軸索の途中で人為的に与えた場合、生じた活動電位は両方向に広がる。したがって、(b) では刺激 B により生じた活動電位は電極 c だけでなく b の位置にも伝導し、さらにシナプスを介して電極 d の位置に伝達される。

なお、シナプス形成時は軸索末端がシナプス前部、樹状突起がシナプス後部となる。シナプス伝達には前→後という方向性があるため、問1・問2とも活動電位の伝導がシナプスを逆行することはない。

第24問 解答と解説

43 の【正解】は(6)(3点)

部分点は無し

【解説】まずダンスの回転数から、AとBは近場、Cは遠いえさ場から帰ってきたことがわかる。

Aは午前9時なので、太陽の位置はおおよそ南東、8の字ダンスの直線部は鉛直上方より90度右向きなので、えさ場は南西。

Bは正午なので、太陽の位置は南、8の字ダンスの直線部は鉛直上方より180度下向きなので、えさ場は北。

Cは午後3時なので、太陽の位置はおおよそ南西、8の字ダンスの直線部は鉛直上方より135度左向きなので、えさ場は東。

したがって、

A: コスモス(南西一近) B: キク(北一近) C: コスモス(東一遠)

第25問 解答と解説

44 の【正解】は(1)(3) (3点)

全ての正解項目を挙げた場合は3点、1項目のみでは1点とする。

(1)(2) や (2)(3) とした場合、および (2) のみや (9),(0) を選択した場合は0点とする。

【解説】 メダカを使った発生生物学の研究室では受精のタイミングを人為的に調節するために、前日夜にオスを背の高いシャーレに分けおき、翌朝にシャーレから出すという操作を行うことがある。

この実験ではメスが前日からオスを視認していることがオスの受け入れにどのような影響を及ぼすかを検討している。実験1、2と比べて、実験3ではオス受け入れまでの時間が長いことから、前日から視認しているオスを受け入れやすい可能性が考えられる((1)は正しい)。しかし実験3でも、時間はかかるもののオスを受け入れているため、前日から視認しているオスしか受け入れないわけではない((2)は誤り)。また実験3では、オスが入った背の高いシャーレを循環式水槽(28℃)の外(25℃)に置いているため、配偶行動に水温が影響している可能性もある((3)は正しい)。

この解説では視認性についてのみ着目して記載したが、この問題文に従えば『オスがメスを惹きつける化学物質を温度依存的に分泌している可能性』も十分考え得る。様々な可能性について自分なりにぜひ考えてみてほしい。

第26問 解答と解説

Connell (1961 Ecology 42: 710-723) の実験を北海道道南地方におけるイワフジツボとムラサキインコガイの関係に当てはめたものである(参考: 高橋 生 2007. 「恵山町史(恵山町史編纂室編)」 pp. 173-177)。図から推測できる2種の種間競争の関係と、自然海岸において競争的排除が緩和されている要因について考察して欲しい。

問1

45 の【正解】は(2)(3)(2点)

全ての正解項目を挙げた場合は2点、1項目では1点

(9) および(0) を選択した場合は0点とする。また、(1)(4) の選択肢をマークした場合はそのたびに1点の減点とし、下限を0点とする。

【解説】 イワフジツボは潮間帯上部に生息することで、ムラサキインコガイとの競争を回避している面があり(すみわけ)、常に競争関係が成立しているとは考えられない((1)は間違い)。潮間帯は潮の干満によって周期的に水没と露出を繰り返す場所であり、付着生物の多くは高さごとに分布を制限されている。A区においてイワフジツボがいない条件でもムラサキインコガイの上限はわずかにしか上がっていないことから、ムラサキインコガイは潮間帯の上部には生息できず、制限要因は潮汐によるものと考えられる((2)は正しい)。B区においてイワフジツボは潮間帯中部まで分布しており、ムラサキインコガイがいなければ潮間帯中部まで分布を広げることが出来ると予想される。対象区においてイワフジツボが潮間帯中部に生息出来ないのはムラサキインコガイとの競争に負けているためと考えられる((3)は正しい)。イワフジツボとムラサキインコガイは固着性動物のため、動き回って餌を探すことはない。プランクトン食の両者にとって冠水時間が長い方が餌を得るのに有利と考えられるが、分布を制限する直接の要因ではない((4)は間違い)。

問2

46 の【正解】は(3)(4)(1点)

全ての正解項目を挙げた場合は1点、部分点は無し

【解説】 イワフジツボとムラサキインコガイの種間競争は生息場所を巡る競争であり、餌が豊富にあっても競争の緩和には繋がらない((1)は間違い)。同所に他の固着性生物が存在する場合、生息場所を巡る競争はより厳しいと考えられる((2)は間違い)。ペインの実験(Paine 1966. American Naturalist 100: 66-75)において、捕食者であるヒトデの1種を除去すると固着性生物であるイガイが他の海岸生物を駆逐してしまうことが知られている。捕食者の存在下では固着性生物の競争が緩和される((3)は正しい)。攪乱によって生じた空間を利用できるようになるため競争が緩和される((4)は正しい)。

第27問 解答と解説

海洋の一次生産は窒素、リンなどの栄養塩類による制限を受け、高校生物の生物基礎では海洋生態系について、夏季に表層の栄養塩不足によって植物プランクトンの発生が抑制されることが紹介されている。しかし、陸域に近い内湾域では夏でも植物プランクトンの大量発生が起こる。4つのグラフは2019年8月7日に大阪湾で実測したデータに基づいたもので、A地点は兵庫県神戸港内、B地点は兵庫県岩屋沖（淡路島北東部）である。神戸港では数日前から植物プランクトンの1種ミキモトヒラオビムシ（*Karenia mikimotoi*）による赤潮が発生していた。A地点において夏でも植物プランクトンが発生していることと、その要因（陸域からの栄養塩の供給）を読み解いて欲しい。B地点は明石海峡の目の前に位置し、増減はあるが潮流の影響を常に受け、海水は絶えず攪拌されている。地理的な情報がなくても、水温、塩濃度、溶存酸素量のデータから、どのような環境にあるかを考察して欲しい。

問1

47 の【正解】は(1)(2) (1点)

全ての正解項目を挙げた場合は1点、部分点は無し

【解説】 A地点では表層で溶存酸素が過飽和状態にあり、クロロフィル濃度が高いことから植物プランクトンが発生していると考えられる。植物プランクトンの発生には栄養塩の供給が不可欠である（(1)は正しい）。A地点の表層の塩濃度が平均よりも低いこと、降雨の影響がないと考えられることから陸域から淡水の流入があると考えられる（(2)は正しい）。クロロフィル量は表層に集中していることから、海藻に由来するものとは考えられない（(3)は間違い）。

問2

48 の【正解】は(3) (1点)

部分点はなし

【解説】 4つのグラフから透明度を推定することは出来ない（(1)は間違い）。B地点の水温、塩濃度、溶存酸素量は表層から底層にかけてほぼ一定であることから、B地点の海水は表層から底層まで良く混ざり合っていると考えられる。従ってB地点では海水が攪拌されている状態にあると考えられる（(2)は間違い）。B地点はクロロフィル量が低く、溶存酸素量に変化も見られないため、植物プランクトンの大量発生は起きていないと考えられる（(3)は正解）。

問3

49 の【正解】は(1) (1点)

部分点はなし

【解説】 富栄養化の傾向がみられる可能性が高いのは、植物プランクトンの大量発生がみられ、底層における溶存酸素量が低いA地点である。

問4

50 の【正解】は(2) (1点)

部分点はなし

【解説】 富栄養化の原因は窒素、リンなどの栄養塩類であり、硝酸塩やリン酸濃度は富栄養化状況を表す直接的なデータである（(2)は正しい）。(1)と(3)はいずれも富栄養化と直接関係していない、あるいは関係性を判断するのが難しく、今回の観測データとしては不適切である。

第28問 解答と解説

51 の【正解】は(5) (1点)

52 53 の【正解】は(5)(0) (1点)

54 55 56 の【正解】は(0).(2)(5) (1点)

57 の【正解】は(1) (1点)

58 の【正解】は(4) (1点)

【解説】食物連鎖（食物網）における生産者、一次消費者、二次消費者などの区分を栄養段階という。栄養段階が一つ上がる時に失われることなく引き継がれる生物量の割合を転換効率というが、どのような生物でも転換効率が100%になることはない。そのため、生産者が作り出した生物量のうち、消費者が餌として利用できる生物量は、栄養段階の高い位置にいる消費者ほど少なくなる。

ヨコエビの10%がカタクチイワシ、その20%がスズキの成長量、ヨコエビの5%がシギの成長量であるため、

$$\text{カタクチイワシ} : 1 \times 100/20 = 5 \text{ (kg)}$$

$$\text{ヨコエビ} : 1 \times 100/20 \times 100/10 = 50 \text{ (kg)}$$

$$\text{シギ} : 5 \times 5/100 = 0.25 \text{ (kg)}$$

となる。

DDTはヨコエビからカタクチイワシ、カタクチイワシからスズキの体内に入る過程でそれぞれ10倍、5倍に濃縮されるため、

$$\text{スズキの DDT 濃度} : 0.02 \times 100/10 \times 100/20 = 1 \text{ (ppm)}$$

$$\text{シギの DDT 濃度} : 0.02 \times 100/10 \times 100/5 = 4 \text{ (ppm)}$$

となる。

第29問 解答と解説

59 の【正解】は(17) (4点)

【部分点】(16)(19) (1.2点) (13)(24) (0.4点)

【解説】海や川や湖沼に生息する水生生物の種類を調べるには、水中にもぐっての観察や、漁具を使って採取する方法がとられてきた。しかし、これらの方法は、多大な労力と費用がかかるだけでなく、多くの時間が必要とされる。魚を含む生物の体表の粘液や糞などとともに DNA が放出されて水中をただよっていることが最近になって明らかになり、水を採取してその中の DNA の塩基配列を読み取って分析することにより、採取された場所に生息する生物種や個体数の推定に利用できるようになった。たとえば、外来魚であるブルーギルのすむ溜め池の検出、河川に生息するコイの生物量の測定、特別天然記念物であるオオサンショウウオの生息地の検出などに使われている。

本問題は、環境 DNA による分析を模擬的に行ったもので、アガロースゲル電気泳動におけるバンドパターンは、「混合」した場合、魚 a と魚 c のものが重なったものとなっている。したがって、魚 a と魚 c を混合したことがわかる（魚 a のパターンは制限酵素で切断されなかったことを示している）。PCR 法では、増殖する遺伝子領域の両端に対応する 1 組のプライマーが必要であるが、魚類の分析には、魚類の DNA の塩基配列データのなかから、魚類に共通する保存的な領域を探し出し、1 組の同じプライマーを使って同じ領域を PCR 法で増やすことが重要である。また、その領域の DNA の塩基配列が魚の種類によって少しずつ異なり、塩基配列の違いによって種を同定する必要もある。さらに、環境 DNA は時間がたつと分解されてしまうので、増殖する領域の長さは短い方が望ましいと考えられる。本問題では、PCR 法で増幅した DNA を制限酵素で処理して分析しているが、実際には、PCR 産物をシーケンス（塩基配列を直接決定）し分析されている*3。

*3 理屈の上では、様々な生物種や系統に応じて異なるプライマーセットを用いても、環境 DNA 由来の生物種の同定は可能であろう。しかし、本問では魚 a～c で同じ遺伝子領域を増幅するために、共通したプライマーを用いている。更に、特定の制限酵素で切断されるか否かを通じて PCR 断片中の DNA 配列を確認し、種の同定を行っている。

第30問 解答と解説

60 の【正解】は(4) (3点)

【部分点】(3) (0.9点) (2)(8) (0.3点)

【解説】 植生の調査を行う際、調査でもちいる方形区のサイズは調査地の特徴を明らかにできるように設定する必要がある。草原の調査では、 $1\text{m} \times 1\text{m}$ の方形区を使うことが多いが、森林の調査ではより大きな方形区を使う。種数-面積曲線は、調査で使う方形区の最小面積を決める手がかりとなる。また、種多様性を理解するために重要な概念が、 α 、 β 、 γ 多様性である。図30-2の小区画内の種多様性を α 多様性といい、小区画の平均種数として計算する。(a)の α 多様性は3.5、(b)の α 多様性は2.5となる。生息地全体の種多様性を γ 多様性といい、すべての区画の総種数として計算する。(a)の γ 多様性は4、(b)の γ 多様性は6である。つまり、小区画内の種多様性が高くても、小区画間での種組成が似ていると、生息地全体の種多様性は大きくならない。これを図30-1の種数-面積曲線で考えると、ひとつの小さな調査区(単位面積の方形区)での生物種数は(ア)の方が多く、種多様性が高いが、(ア)は調査区の面積を拡大していった場合の増加率が低い。つまり、単位面積あたりの種数が多くても、周囲に均質な生物群集しか存在しなければ、面積を拡大しても種数は増加しない。以上のことから、(ア)と(a)が対応していると考えることができる。また、生物多様性の保全を考える際、注意しなければならないのは、小さな面積でみたときに多様性が高かった生物群集が大きな面積でみたときにも多様性が高いとは限らないことである。調査区(イ)は小さな調査区でみると多様性は低い、調査地の面積を広げると多様性は増加する傾向にあり、より広い地域を保全することが必要だと考えられる。なお、小区画間の種多様性を β 多様性といい、 α 多様性と γ 多様性の違いから求められるが、その計算方法にはいくつかの考え方がある。

<出典・参考資料> 『生態学入門 生態系を理解する 第2版』: 生物研究社、『生態学入門 第2版』: 東京化学同人、『植物群集の構造と多様性の解析』: 共立出版

