

生 物

(4 問題 100 点)

生物問題 I

次の文章を読み、問 1～問 4 に答えよ。解答はすべて所定の解答欄に記入せよ。

生物は、1つの遺伝子から機能の異なる複数のタンパク質を生み出し、発現するタンパク質の多様性を高めるしくみをもつことにより、より高度な適応能力を発揮することができる。そのようなしくみの一例として、1つの遺伝子内の異なる場所から転写が開始されることによって長さの異なる複数の mRNA が生じる転写開始点選択と呼ばれる現象が知られている。最近、様々な刺激に対する生物の応答に転写開始点選択が関わることが明らかになってきた。

例えばシロイヌナズナでは、光受容体フィトクロムを介した光刺激に対する応答において転写開始点選択が行われ、細胞内での存在場所(局在部位)が異なる複数のタンパク質が同じ遺伝子から生み出され、それらが異なる役割を果たす現象が知られている。そのような制御を受ける遺伝子の1つである遺伝子 X には、図 1 で示すように 2つの転写開始点が存在し、転写開始点①からは mRNA X 1 が転写され、また転写開始点②からは mRNA X 2 が転写される。そして、mRNA X 1 の開始コドン①からはタンパク質 X 1 が、一方 mRNA X 2 の開始コドン②からはタンパク質 X 2 が翻訳される。これらのタンパク質は同じコドンの読み枠で翻訳され、終止コドンも共通であり、アミノ基末端側の長さだけが異なる。そして開始コドン①と開始コドン②の間の塩基配列は、タンパク質を葉緑体に輸送するために必要十分なアミノ酸配列である葉緑体移行シグナルを指定する。

光刺激の有無によって遺伝子 X の転写開始点がどのように選択されるか、またその結果どのような機能を持つタンパク質が生み出されるかを調べるために、以下の 4つの実験を行った。

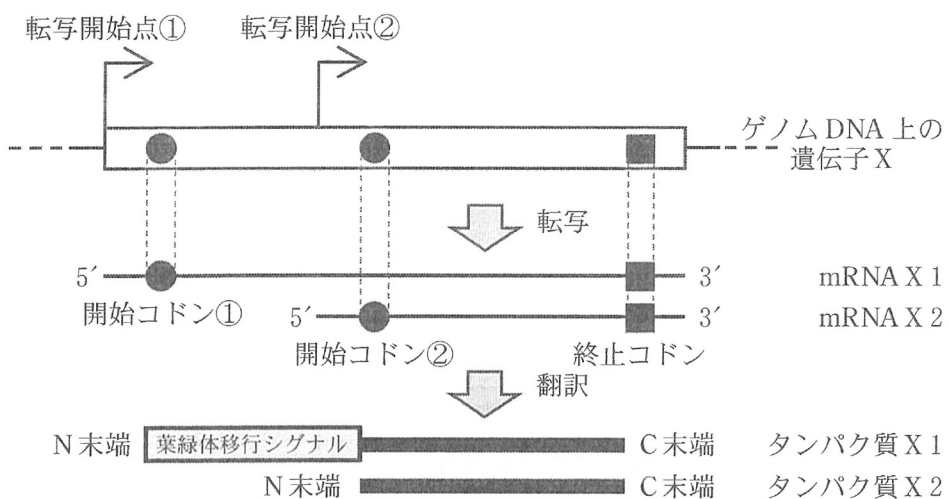


図 1

●は開始コドンを，■は終止コドンを表す。また，タンパク質のアミノ基末端を N 末端，カルボキシ基末端を C 末端と表す。

実験 1：ゲノム編集と呼ばれる技術によって，ゲノムを構成する DNA の特定の塩基配列を思い通りに改変することが可能である。この技術をシロイヌナズナに用いて，タンパク質 X 1 とタンパク質 X 2 の局在部位をいずれも可視化する目的で，緑色蛍光タンパク質 (GFP) のアミノ酸配列を指定する DNA 断片 (GFP 遺伝子断片) を遺伝子 X 内のある特定の場所に挿入し，系統 A を作製した。

実験 2：系統 A からフィトクロムを発現させる遺伝子を完全に欠失させ，系統 B を作製した。そして系統 A と系統 B の芽生えを暗条件と赤色光条件の 2 つの条件で生育させ，GFP が発する蛍光が細胞内のどの部位に局在するかを観察した。生育条件と蛍光が観察された部位を表 1 に示す。

表 1 GFP 蛍光の局在部位

	生育条件	
	暗条件	赤色光条件
系統 A	細胞質基質	葉緑体
系統 B	細胞質基質	細胞質基質

実験 3：系統 A に，遺伝子 X の開始コドン②に相当する塩基配列にアミノ酸置換を引き起こす変異を導入して，開始コドン②を失った系統 C を作製した。そして実験 2 と同様にこの系統 C の芽生えを暗条件と赤色光条件で生育させ，GFP の蛍光を観察した。

実験 4：シロイヌナズナの野生株，系統 A，系統 C，それぞれの芽生えを，実験 2 と同様の暗条件と赤色光条件の 2 つの異なる条件で生育させ，表現型を観察した。その結果，赤色光条件では 3 つの系統はいずれも正常な生育を示した。それに対して暗条件では，野生株と系統 A に比べて，系統 C の芽生えの根が短くなっていた。

問 1 実験 1 に記したように、タンパク質 X 1, X 2 の局在部位をいずれも GFP の蛍光により可視化するためには、GFP 遺伝子断片を遺伝子 X 内のどの場所に挿入すればよいと考えられるか。最も適切な場所を、図 2 の(あ)～(お)より 1 つ選び、その記号を解答欄に記せ。ただし、挿入する GFP 遺伝子断片には、開始コドンと終止コドンに相当する配列は含まれないものとする。

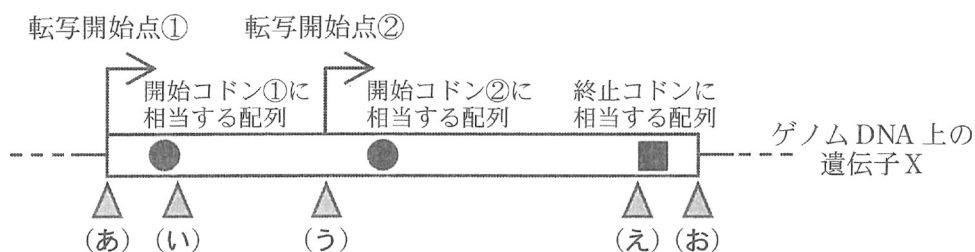


図 2

問 2 次の文章は、実験 2 の結果をもとに考えられる、赤色光刺激に応答した遺伝子 X の転写開始点選択についての記述である。文中の ア ～ ウ に入る語の組み合わせとして最も適切なものを(あ)～(え)より 1 つ選び、その記号を解答欄に記せ。

赤色光刺激により活性化されたフィトクロムの働きによって、遺伝子 X の転写開始点が ア から イ に切り替わり、ウ に局在するタンパク質がつくられる。

	ア	イ	ウ
(あ)	転写開始点①	転写開始点②	細胞質基質
(い)	転写開始点①	転写開始点②	葉緑体
(う)	転写開始点②	転写開始点①	細胞質基質
(え)	転写開始点②	転写開始点①	葉緑体

問 3 実験 3 で作製した系統 C において、GFP の蛍光が観察されるとすれば、細胞内のどの部位に観察されると考えられるか。あるいは、蛍光は観察されないと考えられるか。最も適切な組み合わせを、以下の(あ)～(け)より 1 つ選び、その記号を解答欄に記せ。ただし、野生株の遺伝子 X には、あらゆるコドンの読み枠において開始コドン①と開始コドン②の 2 つの開始コドンしか存在しないものとする。

	生育条件	
	暗条件	赤色光条件
(あ)	葉緑体	葉緑体
(い)	葉緑体	細胞質基質
(う)	葉緑体	観察されない
(え)	細胞質基質	葉緑体
(お)	細胞質基質	細胞質基質
(か)	細胞質基質	観察されない
(き)	観察されない	葉緑体
(く)	観察されない	細胞質基質
(け)	観察されない	観察されない

問 4 実験 4 の観察結果に対して最も適切な説明を、以下の(あ)～(く)より 1 つ選び、その記号を解答欄(1)に記せ。また、その説明を選択した理由を解答欄(2)の枠の範囲内で記せ。

- (あ) タンパク質 X 1 は赤色光条件で根の十分な伸長に必要である。
- (い) タンパク質 X 1 は赤色光条件で根の過度な伸長を抑制する。
- (う) タンパク質 X 1 は暗条件で根の十分な伸長に必要である。
- (え) タンパク質 X 1 は暗条件で根の過度な伸長を抑制する。
- (お) タンパク質 X 2 は赤色光条件で根の十分な伸長に必要である。
- (か) タンパク質 X 2 は赤色光条件で根の過度な伸長を抑制する。
- (き) タンパク質 X 2 は暗条件で根の十分な伸長に必要である。
- (く) タンパク質 X 2 は暗条件で根の過度な伸長を抑制する。

生物問題 II

次の文章を読み、問1～問6に答えよ。解答はすべて所定の解答欄に記入せよ。

マウスで発見された遺伝性疾患はヒトの遺伝性疾患と対応する場合が多く、ヒトの疾患を検討するモデルとしてマウスは有用である。

マウスにおいて発見されたある遺伝性疾患の原因遺伝子座 X を決定するため、次のような交配実験を行った(図1)。いずれも当該疾患を発症していない黒色のオス1と黒色のメス1を交配したところ、8匹のマウスが生まれ、その中に白色かつ疾患を発症するマウスが出現した。同様に、黒色のオス2と黒色のメス2、黒色のオス3と黒色のメス3をそれぞれ交配したところ、それぞれ8匹と9匹のマウスが生まれた。疾患を発症するマウスの大多数は白色であったが、1匹だけ黒色で疾患を発症するマウスが出現した。この結果から、毛の色を決める遺伝子座 A と疾患の原因遺伝子座 X が していると考えられた。

そこで、疾患の原因遺伝子座 X が存在する染色体上の位置を決定するため、毛の色を決める遺伝子座 A が存在する染色体領域に遺伝子座 A をはさむように位置するマーカー遺伝子座 B と C を用いて子マウスの を決定した(図1)。

マーカー遺伝子座とは、相同染色体間で塩基配列がわずかに異なる部分を利用して対立遺伝子の組み合わせである を容易に判定できるような遺伝子座であり、染色体上の位置の目印としての役割を果たす。なお、遺伝子座 B と C の間で相同染色体間の二重乗換えはなく、また、新たな突然変異は生じないものとする。

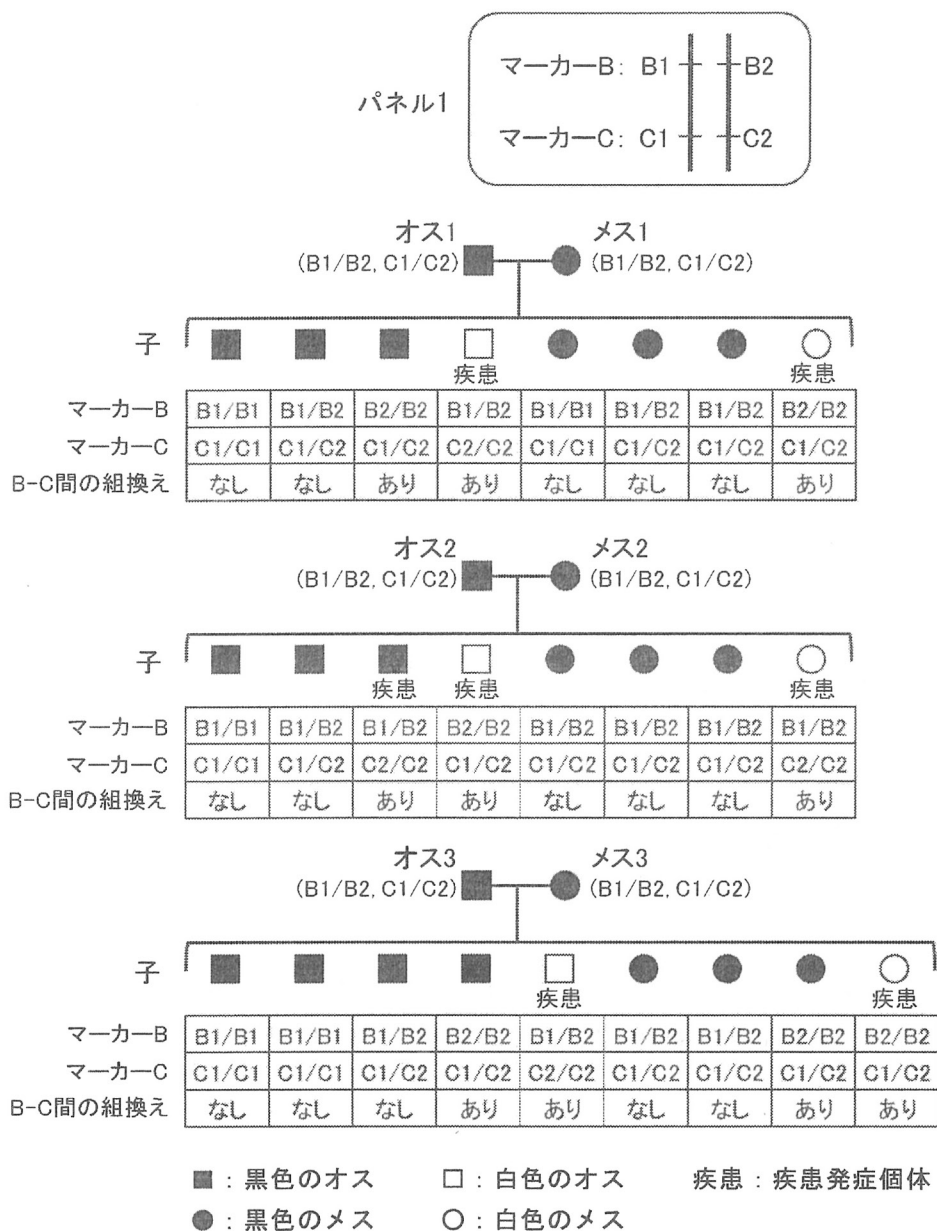


図1

オス1～3およびメス1～3は、マーカー遺伝子座BとCについてパネル1に示すようなヘテロ接合体である。なお、マーカー遺伝子座Bの対立遺伝子をB1, B2と表記する。C1, C2も同様である。マーカー遺伝子座BとCの間に生じた組換えの有無をB-C間の組換え欄に示す。

問 1 文中の **ア** と **イ** に当てはまる適切な語句を解答欄に記せ。

問 2 この疾患の遺伝様式として最も適切なものを以下の(あ)～(え)より1つ選び、その記号を解答欄に記せ。なお、オスはX染色体を1本しかもたないため、X染色体上に劣性遺伝子がある場合には、劣性の表現型が現れる。

- (あ) 常染色体優性遺伝
- (い) 性染色体優性遺伝(伴性優性遺伝)
- (う) 常染色体劣性遺伝
- (え) 性染色体劣性遺伝(伴性劣性遺伝)

問 3 図1に示した場合とは異なり、疾患の原因遺伝子座Xと毛の色を決める遺伝子座Aが独立して遺伝すると仮定した場合を考える。いずれも疾患を発症していない黒色のオスと黒色のメスを交配したところ、生まれたマウスの中に疾患を発症するマウスと白色のマウスが出現したとする。このとき、白色のマウスのうち疾患を発症すると想定されるマウスの割合を百分率(%)で記せ。ただし、有効数字は2けたとする。

問 4 図1に基づいて、遺伝子座AとBの間の組換え価(%)を解答欄(1)に、遺伝子座AとCの間の組換え価(%)を解答欄(2)に記せ。ただし、有効数字は2けたとする。

問 5 図 1 に基づいて、疾患の原因遺伝子座 X が存在すると考えられる染色体地図上の位置として最も適切なものを以下の(あ)～(え)より 1 つ選び、その記号を解答欄に記せ。

- (あ) 遺伝子座 A と B の間の染色体領域
- (い) 遺伝子座 A と C の間の染色体領域
- (う) 遺伝子座 B と C が存在する染色体上で、遺伝子座 B と C の間以外の領域
- (え) 遺伝子座 B と C が存在する染色体とは別の染色体上の領域

問 6 図 1 に基づいて、遺伝子座 A, B, C のうち、疾患の原因遺伝子座 X の最も近くに存在すると考えられる遺伝子座を解答欄(1)に、その遺伝子座と遺伝子座 X の間の組換え価(%)を解答欄(2)に記せ。ただし、有効数字は 2 けたとする。

生物問題 Ⅲ

次の文章(A)、(B)を読み、問1～問7に答えよ。解答はすべて所定の解答欄に記入せよ。

(A) 植物は、様々な外部環境の変化に応じて形態などを変化させながら、成長や生殖を行っている。春から初夏にかけて開花するアブラナ科のシロイヌナズナやイネ科のコムギは長日植物と呼ばれ、長日条件で花芽を形成する。長日植物の中には、この長日条件に加えて、春化に必要な **ア** を経験することが花芽形成に必須である植物も知られている。これに対し、コムギと同じイネ科に属するイネは、基本的には短日条件で花芽を形成すると考えられている。このように、種によって花芽が形成されるための日長条件は異なるが、タンパク質である **イ** が茎頂分裂組織に運ばれて花芽形成が誘導される共通の分子機構が存在する。

イネは熱帯・亜熱帯地域を起源とする。気温が20℃以下になると生育が大幅に遅延し、9℃以下では生育がほぼ停止する。熱帯地域のモンスーン・アジアでは雨季と乾季があり、定期的に洪水や干ばつが起きる。そのため、イネでは日長を正確に感知し、不良環境条件を回避して開花・結実するしくみが発達したと考えられている。一方、人類は日長などの環境変化に対し感受性が異なる様々なイネの自然変異種を見出すとともに、栽培環境を整えることで、野生イネが自生しえない高緯度地域^①や降水量の少ない時期^②においても、栽培を可能としてきた。

問1 文中の **ア** に当てはまる適切な語句を解答欄に記せ。

問2 文中の **イ** に当てはまる適切な語を以下の(あ)～(か)の中から選び、その記号を解答欄に記せ。

- | | | |
|------------|-----------|-------------|
| (あ) アブシジン酸 | (い) オーキシン | (う) サイトカイニン |
| (え) ジベレリン | (お) フロリゲン | (か) エチレン |

問 3 下線部①に関連して、図1に示したイネの品種 A と品種 D を亜寒帯(冷帯)地域にある札幌市で栽培することにした。種まきを5月下旬に行い、温室(平均気温 26℃, 自然日長)で栽培した場合、それぞれの開花はいつ頃になると予想されるか。図2を参考にして、推定される開花時期を以下の(あ)～(お)の中から選び、その記号を品種 A については解答欄(1)に、品種 D については解答欄(2)に記せ。ただし、平均気温 26℃ の時、花芽形成から開花までに要する日数は、品種や日長によらず約 35 日とする。なお、図1における品種 A の点線は、品種 A の限界暗期が 12 時間であることを示している。

一方、札幌市の屋外で5月下旬に品種 A の種まきを行い栽培した場合には開花が観察されない。その理由として考えられることを、解答欄(3)に記せ。ただし、日長が花芽形成を誘導する分子機構は、他の環境要因の影響を受けないものとする。

- (あ) 8月下旬 (い) 9月上旬 (う) 9月下旬
 (え) 10月上旬 (お) 10月下旬以降

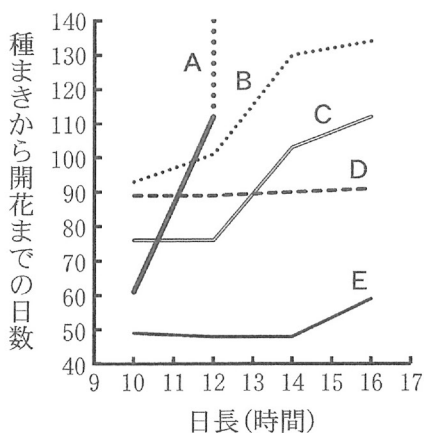


図1 イネ5品種(A~E)を様々な日長条件下(気温 26℃)で栽培した時の種まきから開花までの日数(Vergara and Chang, 1985)の図を改変)

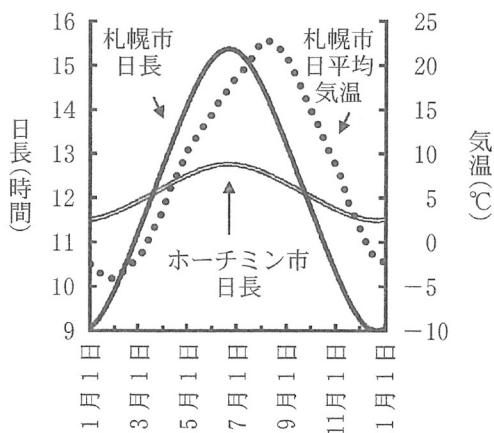


図2 札幌市とホーチミン市の日長と札幌市の日平均気温の季節変化(国立天文台と気象庁のデータより作図)

問 4 下線部②に関連して、熱帯地域の乾季ではイネの栽培は困難であったが、かんがい設備や排水設備の整備により、稲作が可能になった事例もある。ベトナム国ホーチミン市近郊のメコンデルタで乾季の始まる12月に種まきを行い、**図1**に示した品種B～Eを栽培することにした。この場合、品種Bの開花期における現存量を100とすると、品種C～Eの開花期における現存量(概数)はどのような値になると予測されるか。最も適切な値の組み合わせを、以下の(あ)～(く)の中から選び、その記号を解答欄に記せ。ただし、現存量の一日あたりの増加量は全品種で同一であり、生育期間を通し一定とする。また、メコンデルタの乾季の気温は26℃、日長はホーチミン市の日長と同一と仮定する。

	品種C	品種D	品種E
(あ)	110	90	50
(い)	100	90	60
(う)	75	100	50
(え)	75	90	50
(お)	110	100	50
(か)	75	90	60
(き)	110	100	60
(く)	100	90	50

この問題は、次のページに続いている。

(B) 動物は外界からの刺激を受容器で感知し、その情報を筋肉などの効果器に伝えて様々な反応や行動を起こす。その情報を仲介するのが神経系である。脊椎動物において、受容器の1つである視覚器官では網膜の **ア** と桿体細胞^{かん}の2種類の視細胞が光を受容し、聴覚器官では有毛細胞が空気の振動である音波を感知する。また、化学物質は嗅上皮の嗅細胞や味覚芽(味蕾)の味細胞により受容され、体の平衡感覚は前庭や半規管で感知されるなど、様々な種類の受容器がある。このうち聴覚器官や半規管では、物理的的刺激が細胞膜上のイオンチャネルの開閉を直接的に変化させて細胞の **イ** を変化させる。一方、化学物質を受容する嗅細胞や味細胞では、多くの場合 G タンパク質共役型受容体が化学物質を受容する。G タンパク質共役型受容体が少数活性化された場合でも、多数のセカンドメッセンジャー^③を介して多くのイオンチャネル開閉が変化することにより、効果的な刺激受容が可能になる。

問 5 文中の **ア** , **イ** に当てはまる適切な語句を解答欄に記せ。

問 6 受容器で感知した情報が処理されるしくみについて記した次の文章を読み、以下の(1)~(3)に答えよ。

明暗など光刺激のコントラストは、視細胞で受容され神経回路での処理を経て強調された後、脳へ伝えられることがある。そのしくみについて、単純化した神経回路を想定して考察する(図3, 図4)。

図3に示す神経回路において、神経細胞[a]~[f]はすべて興奮性シナプスをつくる細胞で、隣接する神経細胞[a]~[c]はそれぞれ感覚細胞からの伝達により引き起こされる興奮と同じ頻度の興奮を、神経細胞[d]~[f]に引き起こすものとする。なお、図3左端の棒グラフは、感覚細胞からの伝達により引き起こされる[a]~[c]の興奮頻度を表し、ここでは[b]の興奮頻度が[a]と[c]の興奮頻度の2倍である。

図4では、神経細胞「g」を図3で示した神経回路に加えた場合を想定する。「g」には「b」からシナプスを介した情報伝達が起こり、「d」と「f」は「g」からシナプスを介した情報伝達を等しく受ける。

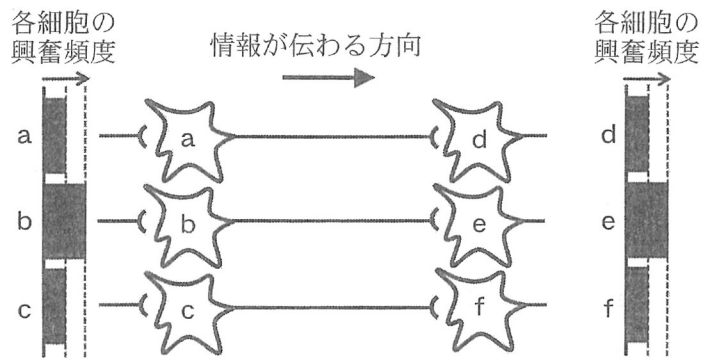


図3

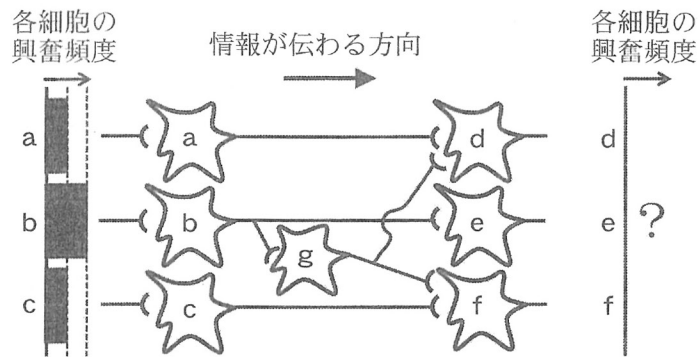
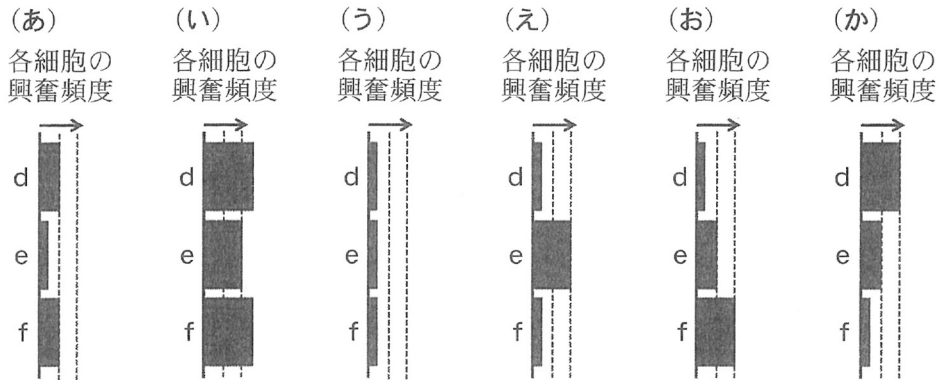


図4



- (1) 図4の神経細胞「g」が「d」と「f」に興奮性シナプスをつくっている場合に、「d」～「f」の興奮の頻度を示す図として最も適切なものを、上の(あ)～(か)の中から選び、その記号を解答欄に記せ。
- (2) 図4の神経細胞「g」が「d」と「f」に抑制性シナプスをつくっている場合に、「d」～「f」の興奮の頻度を示す図として最も適切なものを、上の(あ)～(か)の中から選び、その記号を解答欄に記せ。
- (3) (1)と(2)の結果をふまえ、光刺激のコントラストを強調するしくみを解答欄の枠の範囲内で説明せよ。


問7 下線部③に関連して、少数の受容体活性化により多数のセカンドメッセンジャーが産生される過程で、酵素が重要な役割を担うことが多い。この過程において、酵素のどのような特徴が役立つと考えられるか。解答欄の枠の範囲内で説明せよ。

生物問題 IV

次の文章(A)、(B)を読み、問1～問7に答えよ。解答はすべて所定の解答欄に記入せよ。

(A) 植食性昆虫(以下では、単に昆虫と省略する)と植物の間には捕食者—被食者の関係があるが、植物はただ食べられている(食害を受けている)だけではない。植物は、昆虫による食害を受けると、その部位で食害を防ぐ応答を開始する。これを防御応答と呼ぶ。さらに植物体内の ア を移動する信号の伝達を介して、植物体全体で防御応答を含むさまざまな応答が誘導される。

複数種の昆虫が同じ植物を食害する場合、それらの間に防御応答を介した間接的な相互作用が成り立つことがある。ある植物の地上部を食害する昆虫と地下部を食害する昆虫との間にも、こうした相互作用があるのだろうか。この疑問に答えるために、トウモロコシの栽培品種の植物体を用いて実験を行った。実験材料として、トウモロコシの根に食害を与えるハムシ科の昆虫A(体長約5mmの幼虫)と、葉に食害を与えるヤガ科の昆虫B(体長約5mmの幼虫)を用い、昆虫Aの生育に対する昆虫Bの影響を調べた。なお、昆虫A単独、あるいは昆虫B単独の食害を受けると、トウモロコシはそれぞれの昆虫に対する特異的な防御応答をただちに開始するとともに、植物体全体で防御応答を含むさまざまな応答を示すことがわかっている。実施した実験方法は以下の通りである。

1株ずつポットに植えた丈高約30cmのトウモロコシを45株用意し、温度、湿度、明暗条件を一定にした室内で7日間栽培した。その際、ポットを3つのグループ(各グループ15ポット)に分け、グループごとに、 1に示す3種類の実験条件を設定した。各条件において昆虫Aの体重を接種前と回収後に計測し、体重増加量の平均値を算出した。

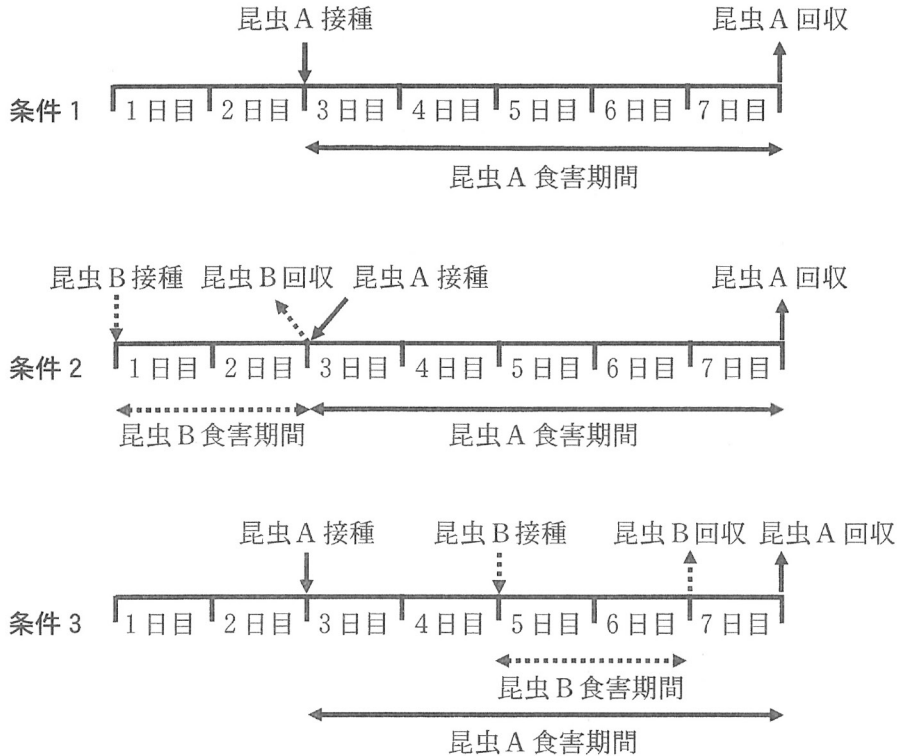


図 1

接種とは、植物に昆虫を接触させ食害を起こさせる操作である。下向き矢印と上向き矢印は、昆虫の接種と回収を表し、水平方向の矢印は昆虫の食害期間を表す。実線は昆虫 A についての、点線は昆虫 B についての操作を表す。一日は午前 8 時から翌日午前 8 時までとし、午前 8 時を各日の実験開始時刻と呼ぶ(凡例の左側)。また 7 日目の実験が終わる午前 8 時を実験終了時刻と呼ぶ(凡例の右側)。

条件 1 : 3 日目の実験開始時刻にポット植のトウモロコシ株の根に昆虫 A を 4 頭接種し、実験終了時刻に全個体を回収した。

条件 2 : 1 日目の実験開始時刻にポット植のトウモロコシ株の葉に昆虫 B を 12 頭接種し、3 日目の実験開始時刻に全個体を回収した。昆虫 B の回収後、直ちにトウモロコシ株の根に昆虫 A を 4 頭接種し、実験終了時刻に全個体を回収した。

条件 3 : 3 日目の実験開始時刻にポット植のトウモロコシ株の根に昆虫 A を 4 頭接種し、その後、5 日目の実験開始時刻にトウモロコシ株の葉に昆虫 B を 12 頭接種した。昆虫 B は 7 日目の実験開始時刻に全個体を回収した。昆虫 A は実験終了時刻に全個体を回収した。

実験の実施期間を通して、昆虫 A、昆虫 B による食害量がトウモロコシの成長に与える影響は無視できるものとし、また栽培期間中のトウモロコシの成長は実験結果に影響を及ぼさなかったとする。実験の結果を図 2 に示す。

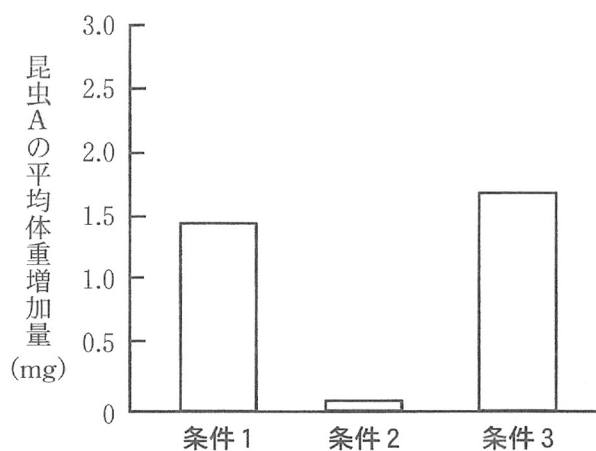


図 2

(Erb et al., 2011 の図を改変)

問 1 文中の ア に当てはまる適切な語句を解答欄に記せ。

問 2 下線部は昆虫による食害の記述であるが、植物は病原体に感染した場合にも感染部位で様々な防御応答を示す。そのような防御応答のしくみを1つあげ、解答欄の枠の範囲内で説明せよ。

問 3 図2に示された条件1の結果は、トウモロコシの昆虫Aに対する防御応答下での、昆虫Aの体重増加量を示している。この値と条件2における体重増加量の値との間には著しい違いがある。この違いは、条件2では、昆虫Aが根をほとんど食害できなかったことを示している。昆虫Aが根を食害できなかった理由を「防御応答」、「誘導」、「葉」という語をすべて用い、解答欄の枠の範囲内で説明せよ。

問 4 条件2と条件3において、昆虫Bの食害期間は同じ長さであったにもかかわらず、条件3での昆虫Aの体重増加量は、条件2より大きく、条件1と同程度であった。何がこの体重増加量の違いを引き起こしたのだろうか。この理由を明らかにするため、条件2と条件3で昆虫Bの体重増加量を調べる実験を計画した。実験の結果、昆虫Bの体重が条件2では増加し、条件3では増加しなかった場合、昆虫Aの体重増加量の違いが発生した理由としてどのようなことが考えられるか。「防御応答」、「誘導」、「葉」、「根」という語をすべて用い、解答欄の枠の範囲内で説明せよ。

この問題は、次のページに続いている。

(B) 生態系では、生産者が太陽光のエネルギーを化学エネルギーに変換して生産を行い、その次の栄養段階にある一次消費者がそのうちの一部を摂食し、同化し、生産を行う。さらに、その上位の栄養段階にある二次消費者も、同様に、一次消費者による生産量の一部を利用する。それぞれの段階において、摂食されないエネルギー、同化されないエネルギー、生産に用いられないエネルギー、成長の過程で起こる組織の枯死や老廃物の排出で失われるエネルギーがあり、ある栄養段階での生産量の一部だけが次の栄養段階に移行する。これらの関係をまとめた模式図は生産力ピラミッド(あるいは生産速度ピラミッド)と呼ばれ、ピラミッドの段の間での年間同化量の相対値(ある栄養段階の年間同化量をその一つ前の栄養段階の年間同化量で割った値)をエネルギー効率と呼ぶ。また、ある生物群において、生産量を同化量で割った値を生産効率と呼ぶ。

問 5 陸域の単位面積あたりに到達する光のエネルギーの年間総量と季節的変動は、緯度によって異なる。その結果として、赤道域と中緯度域で生産力ピラミッドの1段目の大きさ(総生産量)がどのように異なるかを、解答欄の枠の範囲内で説明せよ。

問 6 生産者と一次消費者の間のエネルギー効率に影響する要因を以下の(あ)～(お)の中からすべて選び、その記号を解答欄に記せ。

- (あ) 植物の単位重量あたりの呼吸量
- (い) 植物の成長に伴う落葉、落枝などの枯死量
- (う) 植物の生産効率
- (え) 植食性動物の単位重量あたりの呼吸量
- (お) 植食性動物の不消化排出量

問 7 表 1 は 3 つの動物群について生産効率を調べた結果を示す。この表に例示したように、一般に哺乳類は無脊椎動物に比べ、生産効率が低い。この理由を解答欄の枠の範囲内で記せ。

表 1

動物群	生産効率(%)
小型哺乳類	1.51
その他の哺乳類	3.14
昆虫以外の無脊椎動物	25.0

(Humphreys, 1979 の表を改変)

生物問題は、このページで終わりである。