

2023 年度

理 科 問 題

(物理・化学・生物・地学)

物理：2～7 ページ	解答用紙 4 枚
化学：8～23 ページ	解答用紙 5 枚
生物：24～41 ページ	解答用紙 4 枚
地学：42～49 ページ	解答用紙 3 枚

注 意 事 項

- 1 問題冊子は、監督者が「解答始め」の指示をするまで開かないこと。
- 2 問題冊子や解答用紙に脱落のあった場合には申し出ること。
- 3 解答用紙の各ページ所定欄に、それぞれ受験番号（最後のページは、左右2箇所）、氏名を必ず記入すること。なお、解答用紙は上部で接着してあるので、はがさず解答すること。
- 4 解答は、すべて解答用紙の所定欄に記入すること。
- 5 解答以外のことを書いたときは、該当箇所の解答を無効とすることがある。
- 6 解答用紙の裏面は計算等に使用してもよいが、採点はしない。
- 7 現代システム科学域の受験者は、「物理」・「化学」・「生物」・「地学」のうちから1科目を選択し、解答すること。
- 8 理学部の受験者は、次により解答すること。なお、第2・3志望がある場合、志望する学科についても確認すること。
 - (1) 数学科・生物学科・地球学科・生物化学科を志望する者は「物理」・「化学」・「生物」・「地学」のうちから2科目を選択し、解答すること。
 - (2) 物理学科を志望する者（第3志望までを含む）は、「物理」とその他に「化学」・「生物」・「地学」のうちから1科目を選択し、計2科目を解答すること。
 - (3) 化学科を志望する者（第3志望までを含む）は、「物理」・「化学」の計2科目を解答すること。
- 9 工学部の受験者は、「物理」・「化学」の計2科目を解答すること。
- 10 農学部・獣医学部・医学部医学科の受験者は、「物理」・「化学」・「生物」のうちから2科目を選択し、解答すること。
- 11 生活科学部食栄養学科の受験者は、「物理」・「化学」・「生物」のうちから1科目を選択し、解答すること。
- 12 問題冊子の余白は下書きに使用してもよい。
- 13 問題冊子及び選択しなかった科目の解答用紙は持ち帰ること。

生 物

第 1 問 (25点)

動物の遺伝と発生に関する次の文 1～文 3 を読み、以下の問いに答えよ。

文 1

ゲノム中の塩基配列が変化すると、発生に異常が生じ正常な個体とは異なる形質が見られることがある。ニワトリの品種の 1 つである烏骨鶏^{ウコッケイ}を考えてみよう。

烏骨鶏は正常なニワトリとは異なり、「皮膚が黒色」で、前肢の先端に形成される指の数が多い「多指症」の形質を有する。これらの形質の遺伝のしくみを理解するために、以下の実験を行った。

烏骨鶏のオスを、正常なニワトリのメスと交配し、雑種第一代 (F_1) を得た。次に F_1 のオスと正常なニワトリのメスを交配し、雑種第二代 (F_2) を得た。 F_1 50 個体と、 F_2 80 個体における皮膚の色と前肢の指の数を観察し、表 1 の結果を得た。

表 1

雑種第一代 (F_1)		皮膚の色	
		正常	黒色
前肢の指	正常	0	0
	多指症	0	50

雑種第二代 (F_2)		皮膚の色	
		正常	黒色
前肢の指	正常	20	20
	多指症	20	20

表の中の数字は、観察で見られた個体数を示す。

問1 烏骨鶏における「皮膚が黒色」という形質と、「多指症」という形質の遺伝のしくみについて、次の(a)～(d)から最も適切なものを1つ選び、記号で答えよ。

- (a) 「皮膚が黒色」という形質と「多指症」という形質の遺伝子は、連鎖しており、両方の形質とも顕性（優性）である。
- (b) 「皮膚が黒色」という形質と「多指症」という形質の遺伝子は、連鎖しており、両方の形質とも潜性（劣性）である。
- (c) 「皮膚が黒色」という形質と「多指症」という形質の遺伝子は、独立しており、両方の形質とも顕性（優性）である。
- (d) 「皮膚が黒色」という形質と「多指症」という形質の遺伝子は、独立しており、両方の形質とも潜性（劣性）である。

問2 烏骨鶏の皮膚を採取し遺伝子の発現を調べた結果、黒色の色素を多く作るように働く遺伝子である *EDN3* 遺伝子の発現が、正常なニワトリと比較して増加していることが判明した。この遺伝子座を調べた結果、烏骨鶏では *EDN3* 遺伝子を含む第20染色体の一部の領域が、図1のように変異していることがわかった。このような染色体の突然変異を何というか答えよ。

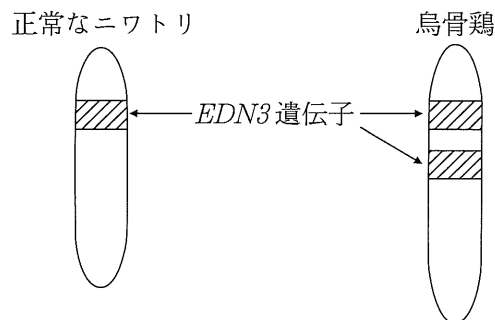


図1 染色体における *EDN3* 遺伝子を含む領域の位置

問3 皮膚の細胞は、胚の発生中に見られる3つの胚葉のうちの1つに由来する。次の(a)～(h)の組織・器官の中で、皮膚と同じ胚葉由来のものをすべて選び、記号で答えよ。

- | | | | |
|--------|--------|---------|---------|
| (a) 肝臓 | (b) 網膜 | (c) 脊椎骨 | (d) 腎臓 |
| (e) 脊髄 | (f) 肺 | (g) 水晶体 | (h) 平滑筋 |

文 2

前肢は発生過程で体の側方から形成される^しが^がと呼ばれる膨らみから形成がはじまる。肢芽の発生が進むと、正常なニワトリ胚では前肢の先端に、前方から第1指、第2指、第3指の3本の指が形成される（図2）。

肢芽では *Shh* 遺伝子が発現しており、前肢の発生において重要な働きをしている。*Shh* 遺伝子の役割を調べるために、正常なニワトリ胚を用いて次の実験1～実験3を行った。

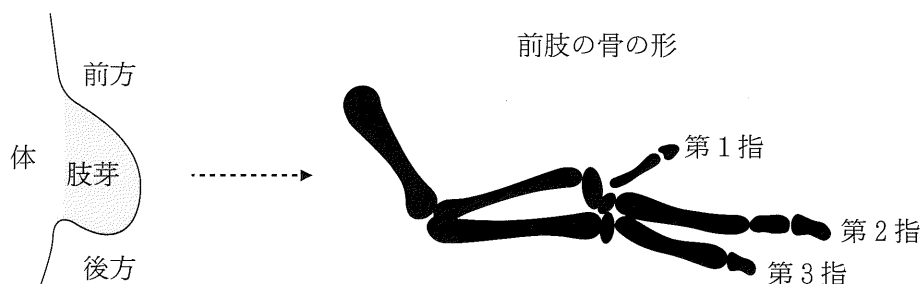


図2 正常なニワトリ胚における肢芽（左）と前肢に形成される骨の形（右）

実験1 *Shh* 遺伝子が発現している場所を調べるために、図3(A)で示した肢芽の前方①、中央②、後方③の組織を採取し、*Shh* 遺伝子から作られる mRNA の量を調べたところ、図3(B)の結果が得られた。

実験2 実験1と同様に組織を採取し、*Shh* 遺伝子から作られる *Shh* タンパク質の量を調べたところ、図3(C)の結果が得られた。

実験3 肢芽の前方①の組織の細胞で、*Shh* 遺伝子を人為的に発現させたところ、肢芽の前方に過剰な指が形成された（図3(D)）。

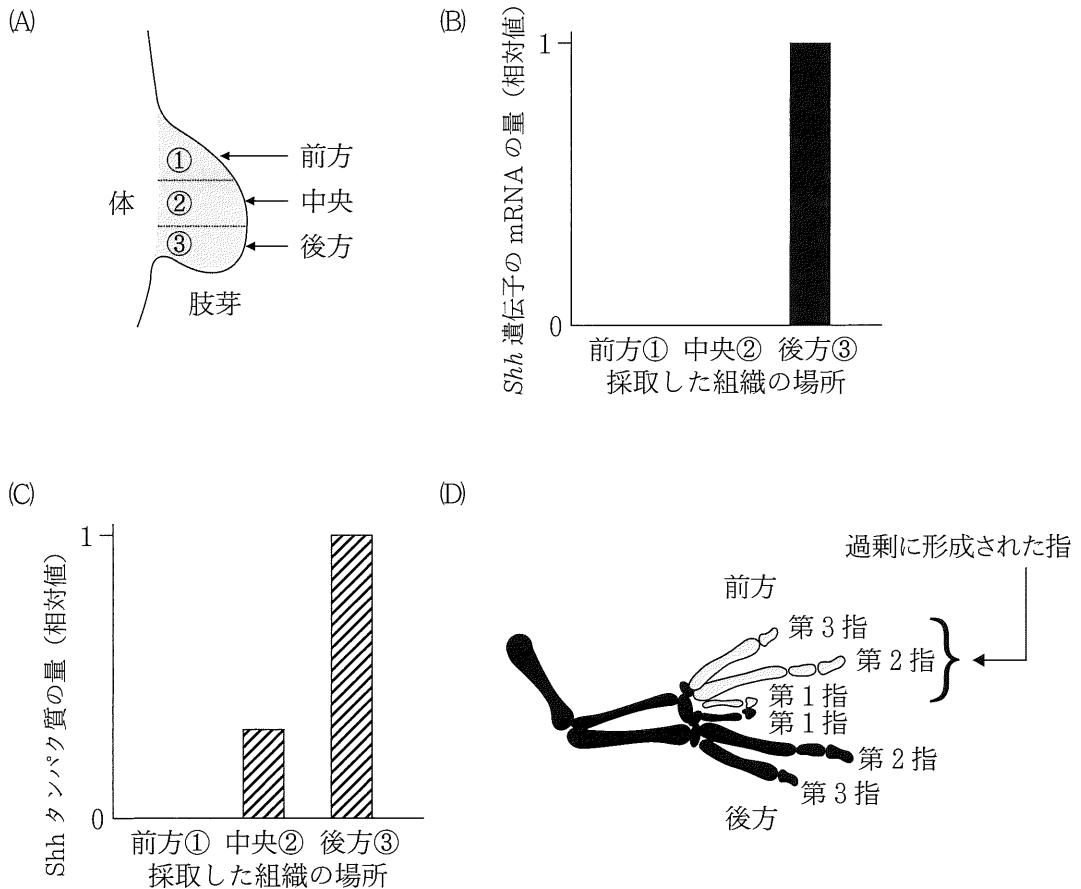


図3 採取した組織の場所と実験1～実験3の結果

問4 実験1～実験3の結果から推定されることを、次の(a)～(e)から3つ選び、記号で答えよ。

- (a) 肢芽の中央②の細胞でも *Shh* 遺伝子の mRNA が合成され、*Shh* タンパク質が作られる。
- (b) *Shh* タンパク質は、細胞外に分泌されるタンパク質である。
- (c) 正常なニワトリ胚において、*Shh* 遺伝子は前方①の細胞では発現していない。
- (d) 正常なニワトリ胚において、*Shh* タンパク質が多く作用する場所には第1指が形成される。
- (e) *Shh* 遺伝子は指の数の制御に関わる遺伝子である。

文 3

烏骨鶏が「多指症」を示す原因を調べるために、烏骨鶏のオスとメスを交配し、受精卵を得た。得られた烏骨鶏胚の肢芽の組織を図 3 (A)で示したように前方①，中央②，後方③に分けて採取し，*Shh* 遺伝子の mRNA の量を調べたところ，図 4 の結果が得られた。

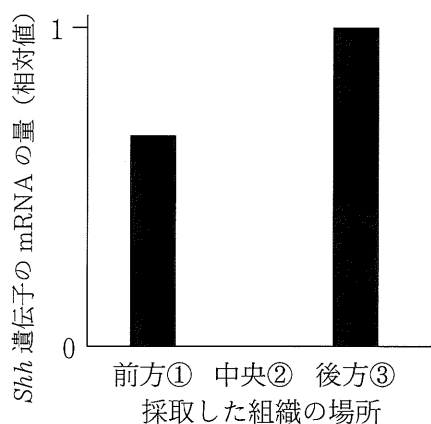


図 4 烏骨鶏胚の肢芽における *Shh* 遺伝子の mRNA の量

問 5 図 3 と図 4 の結果から推定される，烏骨鶏が「多指症」の形質を示すしくみを 80 字以内（句読点を含む）で説明せよ。

問6 図4の結果が得られた遺伝的なしくみを調べるために、烏骨鶏の *Shh* 遺伝子の塩基配列を、正常なニワトリの *Shh* 遺伝子の塩基配列と比較した。その結果、烏骨鶏の *Shh* 遺伝子の転写調節配列（転写調節領域）に、1塩基の突然変異を発見した。研究の結果、この突然変異が原因で烏骨鶏が「多指症」となることが判明した。この突然変異によって、前肢の発生過程でどのような分子レベルの異常が生じたと推定されるか、最も適切なものを次の(a)～(e)から1つ選び、記号で答えよ。

- (a) *Shh* 遺伝子から転写された RNA の選択的スプライシングに異常が生じた。
- (b) *Shh* タンパク質のアミノ酸配列に異常が生じた。
- (c) *Shh* 遺伝子が転写される際に DNA の二重らせんをほどく DNA ヘリカーゼの反応に異常が生じた。
- (d) *Shh* 遺伝子の転写調節配列に調節タンパク質が結合する反応に異常が生じた。
- (e) *Shh* 遺伝子の転写調節配列に DNA ポリメラーゼが結合する反応に異常が生じた。

生 物

第 2 問 (25点)

植物の発生と種子発芽の環境応答に関する次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

被子植物では、動物の精子に相当する精細胞と ①動物の卵に相当する卵細胞が受精し受精卵が形成される。 ②受精卵は細胞分裂を繰り返して胚を形成する。 胚の発生・成熟とともに胚乳の発達または消滅が起き、胚珠が種子となる。

多くの植物では、③完成した種子は、すぐには発芽せずに休眠に入る。 ある程度の休眠期間を経ると、種子は休眠から目覚めて、発芽できるようになる。種子の休眠の維持・解除ならびに種子の発芽と芽生えの成長は、種子に含まれる植物ホルモンや ④周囲の環境に影響される。

問 1 下線部①に関して、胚のう細胞から卵細胞ができる過程を、以下の語群から最も適切な語を 1 つ用いて 60 字以内（句読点を含む）で説明せよ。

減数分裂 核分裂 体細胞分裂

問 2 下線部②に関して、被子植物の受精卵から胚が形成されるまでの過程の特徴として適切なものを、次の(a)～(d)から 2 つ選び、記号で答えよ。

- (a) 胚の形成に伴ってやがて消失する胚柄がある。
- (b) 細胞の移動が形態形成の大きな要因である。
- (c) 器官を形成するための分裂組織が準備される。
- (d) 細胞が増えていくと、胚の内部に空所が生じる。

問 3 下線部③に関して、(1)と(2)の問いに答えよ。

- (1) 種子が休眠する利点を 35 字以内（句読点を含む）で説明せよ。

(2) 種子の休眠を維持し発芽を抑制する植物ホルモンは、ほかの機能も担っている。
この植物ホルモンが促進する現象を、次の(a)～(d)からすべて選び、記号で答えよ。

- (a) 葉の老化 (b) 花芽形成 (c) 組織の脱分化 (d) 気孔の閉鎖

問4 下線部④に関して、次の文章を読み、(1)～(3)の問いに答えよ。

春に開花するアブラナの種子を、ろ紙を敷いて水を加えたペトリ皿にまいた。種子が吸水する前に、赤色光（波長 660 nm 付近）もしくは遠赤色光（波長 730 nm 付近）下に移し、実験終了まで同じ光環境下に 5 日間置いた。光の波長以外の環境条件は同じであった。5 日目に発芽率ならびに胚軸の長さの子葉 1 枚の重さを計測した。また、重さを計測した子葉のデンプンの蓄積を調べた。その結果を表 1 に示す。

表 1

光	発芽率 (%)	胚軸の長さ (mm)	子葉の重さ (mg)	デンプンの蓄積
赤色	95	(あ)	(Y)	あり
遠赤色	95	(い)	(Z)	なし

(1) 表 1 の胚軸の長さ (あ), (い) と子葉の重さ (Y), (Z) の値の大小関係の組み合わせとして、最も適切なものを、次の(a)～(f)から 1 つ選び、記号で答えよ。

- (a) あ > い, Y < Z (b) あ < い, Y < Z
(c) あ > い, Y > Z (d) あ < い, Y > Z
(e) あ > い, Y = Z (f) あ < い, Y = Z

(2) 芽生えがほかの植物の緑色の葉に覆われた場合、太陽光がその植物の葉を透過することで、芽生えに届く赤色光と遠赤色光の比率は変化する。この変化に関与する色素と、その色素によって芽生えに届く比率が高まる光の組み合わせとして、最も適切なものを、次の(a)～(d)から1つ選び、記号で答えよ。

- (a) カロテン, 赤色光
- (b) クロロフィル a, 遠赤色光
- (c) クロロフィル a, 赤色光
- (d) カロテン, 遠赤色光

(3) クリプトクロム, フィトクロム, フォトリピンのうち、いずれか1つの光受容体の機能を欠損したアブラナの突然変異体を用いて、青色光（波長 450 nm 付近）、赤色光および遠赤色光それぞれの光条件下での種子の発芽と芽生えの生育反応を調べた。その結果、いずれの光条件下においても、突然変異体の種子の発芽率と芽生えの胚軸の長さは、野生型と差がなかった。

この突然変異体の生育過程における光に対する反応として、適切なものを、次の(a)～(g)よりすべて選び、記号で答えよ。なお、それぞれの反応では光以外の要因は影響しないものとする。

- (a) 葉に青色光を当てても、気孔の孔辺細胞の膨圧は上昇しない。
- (b) 葉に青色光を当てると、気孔の孔辺細胞の膨圧が上昇する。
- (c) 芽生えに片側から青色光を当てると、細胞内でのオーキシン輸送タンパク質の分布が変化する。
- (d) 芽生えに片側から赤色光を当てても、細胞内でのオーキシン輸送タンパク質の分布は変化しない。
- (e) 芽生えに片側から青色光を当てても、細胞内でのオーキシン輸送タンパク質の分布は変化しない。
- (f) 明期の光が太陽光の場合、24 時間の明暗の周期が短日条件のとき花芽が形成される。
- (g) 明期の光が太陽光の場合、24 時間の明暗の周期が短日条件のとき暗期の途中で光中断を行うと花芽が形成される。

(余 白)

生 物

第 3 問 (25点)

骨格筋に関する次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

骨格筋を構成する筋繊維の細胞質には、細長い円柱状の構造をもった（ア）が束になって存在している。（ア）の中には、ミオシンフィラメントと①アクチンフィラメントが長軸方向に規則正しく並んでいる。骨格筋を顕微鏡で観察すると、これらのフィラメントが規則正しく並ぶことによって、②やや暗く見える暗帯と明るく見える明帯が交互に並んだ横じまの模様が見られる。骨格筋や心筋は、このしま模様が見られることから（イ）筋と呼ばれる。筋収縮は、③ATPがADPに分解されるときエネルギーを使い、それぞれのフィラメントを構成する④ミオシンとアクチンが相互作用することによって起こる。

問1 文章中の空欄（ア）と（イ）に入る最も適切な語を答えよ。

問2 下線部①に関して、アクチンフィラメントは、筋繊維以外の細胞にも細胞骨格として存在する。アクチンフィラメントが関与する現象として適切なものを、次の(a)～(d)から2つ選び、記号で答えよ。

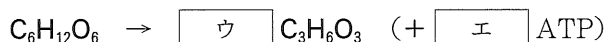
- (a) 細胞分裂時に染色体の分配で見られる紡錘体の形成
- (b) オオカナダモの葉の細胞で見られる細胞質流動
- (c) 細胞分裂の終期に細胞がくびれ、2個の娘細胞となる境界に生じる輪（収縮環）の形成
- (d) ミドリムシのべん毛の運動

問3 下線部②に関して、弛緩した骨格筋の暗帯を構成するフィラメントの説明として、最も適切なものを、次の(a)～(e)から1つ選び、記号で答えよ。

- (a) ミオシンフィラメントで構成され、アクチンフィラメントは含まれない。
- (b) ミオシンフィラメントとアクチンフィラメントが互いに重なった部分で構成される。
- (c) アクチンフィラメントのうちミオシンフィラメントと重なった部分と、ミオシンフィラメント全体で構成される。
- (d) ミオシンフィラメントのうちアクチンフィラメントと重なった部分と、アクチンフィラメント全体で構成される。
- (e) アクチンフィラメントで構成され、ミオシンフィラメントは含まれない。

問4 下線部③に関する次の文章を読み、(1)と(2)の問いに答えよ。

激しい運動をしている筋肉では、ATPが急速に消費される。急激な筋収縮によって酸素の供給が間に合わなくなると、筋肉では、酸素を使わずに、グルコースやグリコーゲンが分解される解糖によってATPが供給される。この解糖の反応をまとめると下記のように表すことができる。



(1) 空欄 $\boxed{\text{ウ}}$ と $\boxed{\text{エ}}$ に入る適切な数字と、解糖によって生じる $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ の物質名を答えよ。

(2) 十分な酸素の供給がある場合、ATPは呼吸によって合成される。電子伝達系において、NADH 1分子あるいは FADH_2 1分子あたり2分子のATPが合成されると仮定すると、呼吸と同じ量のATPを得るために、解糖では呼吸で消費される何倍のグルコース量が必要となるか答えよ。

問5 下線部④に関して、ミオシンフィラメントとアクチンフィラメントの間で滑り運動が生じるためには、ミオシン分子の頭部に ATP が結合する必要がある。ミオシン頭部に ATP が結合したとき、ミオシン頭部はアクチンに結合するのか、それともアクチンから離れるのか、どちらか答えよ。

問6 骨格筋の筋繊維から細胞膜を取り除いたものをスキンドファイバーと呼ぶ。緩衝液中のスキンドファイバーに様々な物質を添加することにより、筋収縮のしくみを調べられる。スキンドファイバーは細胞膜がないので、添加した物質は細胞小器官に直接作用する。スキンドファイバーを用いた実験に関して、(1)と(2)の問いに答えよ。

(1) 緩衝液中のスキンドファイバーに、ATP を加えても収縮は起こらなかったが、ATP を加えた後に、 Ca^{2+} を加えると収縮が起きた。この理由を以下の2つの語をすべて用いて、100字以内（句読点を含む）で説明せよ。なお、「 Ca^{2+} 」は1字として扱う。

トロポニン トロポミオシン

(2) 緩衝液中のスキンドファイバーに、ATP と Ca^{2+} を加えて収縮を生じさせた。その後、Ca キレート剤（ Ca^{2+} と選択的に結合し、 Ca^{2+} のはたらきを抑える化合物。なお、細胞小器官の膜は透過できない。）を加えると、スキンドファイバーは急激に弛緩した。次に、緩衝液を、ATP を含み、 Ca^{2+} を含まない新たなものに交換し、物質 A を加えると、スキンドファイバーは収縮し、弛緩した。再び Ca キレート剤を加え、物質 A の添加を数回繰り返すと、スキンドファイバーは次第に収縮しなくなった。これらの実験結果から考えられる物質 A の作用の説明として、最も適切なものを、次の(a)～(e)から1つ選び、記号で答えよ。

- (a) 直接ミオシンに作用し、ミオシンとアクチンの相互作用を活性化する。
- (b) 筋小胞体からのアセチルコリンの放出を促す。
- (c) ミトコンドリアからの Ca^{2+} の放出を促す。
- (d) 筋小胞体からの Ca^{2+} の放出を促す。
- (e) 筋小胞体における活動電位の発生を抑える。

(余 白)

生 物

第 4 問 (25点)

個体群に関する次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

個体群を構成する個体の分布は、非生物的環境による影響やその生物の個体間相互作用を反映している。主な分布には、それぞれの個体が一定空間を占有する傾向があるときの一様分布（図1(A)）、各個体が他個体の位置と関係なく散らばるランダム分布（図1(B)）、個体が生息地の特定の場所にかたまった集中分布（図1(C)）の3つがある。①これらの分布の様式は、生物の種類によって異なる。 また、②時間の経過や生物の成長段階によって分布様式が変化する場合もある。

個体群を構成する個体数の推定法の1つに、③標識再捕法がある。これは、捕獲したすべての個体に標識をつけてからもとの個体群にもどし、④しばらく時間をおいて個体が十分に分散したあとに、再び同様の条件のもとで捕獲し、捕獲した個体に含まれる標識個体数から全体の個体数を推定する方法である。 また、個体数の推定法には、生息地に一定面積の区画をいくつか定め、各区画内の個体数を数える⑤区画法が用いられる場合もある。区画法は、区画の面積と生息地全体の面積の比率をもとにして、数えた個体数から全体の個体数を推定する方法である。

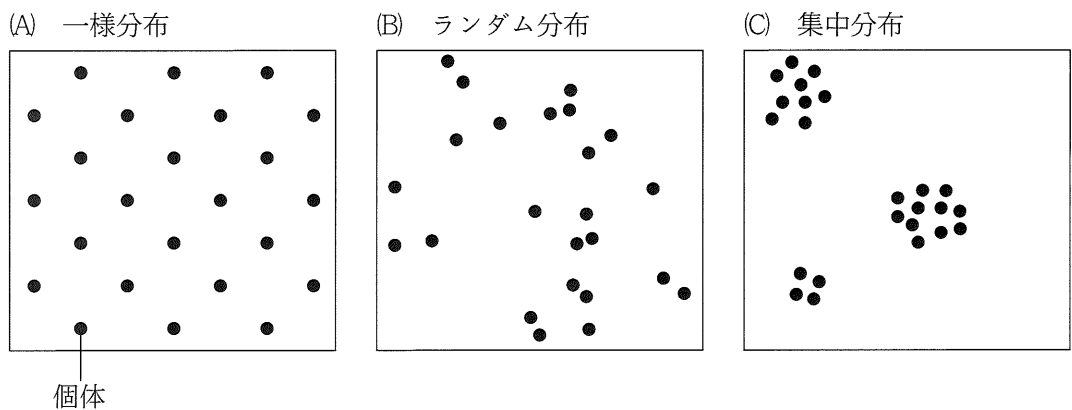


図1 個体群のなかでの個体の分布

問1 下線部①に関して、動物では、一様分布は縄張りが形成されるときなどに見られる。縄張りは、それを守るために費やす労力（コスト）よりも、縄張りをもつことによって、食物や交配相手を確保できるなどの利益が大きい場合に成立する。動物が縄張りを守るための労力（コスト）として適切なものを、次の(a)～(f)から3つ選び、記号で答えよ。

- (a) 他者の子どもの世話 (b) 他個体への警告
- (c) 縄張り内の見まわり (d) 食物の探索
- (e) 侵入者との闘争 (f) 異性への求愛

問2 下線部②に関して、ある樹木の芽生えの分布様式は、ランダム分布であった。この個体群を調べたところ、時間の経過とともに枯死する個体が増え、生き残って成長した個体は特定の場所にかたまって集中分布となった。これらの結果に関して、(1)と(2)の問いに答えよ。

(1) 分布様式がランダム分布から集中分布に変化した理由として最も適切なものを、次の(a)～(d)から1つ選び、記号で答えよ。

- (a) 資源をめぐる個体間の競争が激しかったため。
- (b) 密度効果の結果、自然に間引きが行われたため。
- (c) 成長に適した環境条件が局所的に存在していたため。
- (d) 各個体から他個体の成長を妨げる物質が分泌されていたため。

(2) 調査を始めた時には、芽生えの個体数は1000個体であったが、1年後には、このうちの500個体が枯死していた。1年間に枯死する個体の割合は毎年変わらないとすると、調査開始から2年後には何個体が生存していると推定されるか、個体数を答えよ。

問3 下線部③に関して、再捕獲を行う前に標識をつけられた個体の20%で標識が消えた場合、個体数の推定値は、標識が消えなかった場合の推定値の何倍になるか、答えよ。

問4 下線部④に関して、ある池の中のフナの個体数を標識再捕法により推定することにした。図2は、1回目の捕獲で標識をつけた個体を池にもどしてからの経過時間ともどした場所にいる個体の中で標識がついた個体の割合の関係を示している。1回目の捕獲からあまり時間をおかずに t_1 の時点で2回目の捕獲を行った場合、個体数の推定値は、十分に時間が経過した t_2 の時点で2回目の捕獲を行った場合の推定値の何倍になるか、答えよ。ただし、捕獲を行う場所ともどす場所は、同じであるとする。

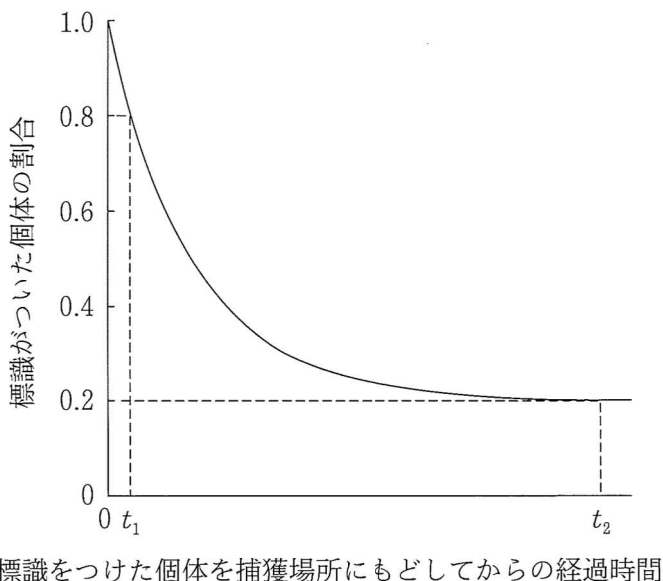


図2 もどした場所における標識がついた個体の割合の変化

問5 下線部⑤に関して、(1)と(2)の問いに答えよ。

(1) 個体数を推定するために、標識再捕法より区画法が適している生物を、次の(a)～(h)からすべて選び、記号で答えよ。

- | | |
|------------|--------------|
| (a) カエルの成体 | (b) チョウの成虫 |
| (c) シカの親個体 | (d) タンポポの親個体 |
| (e) トンボの成虫 | (f) フジツボの成体 |
| (g) ホヤの成体 | (h) ワラビの胞子体 |

- (2) ある生物の個体数を推定するために、生息地に n 個の区画をつくり、区画ごとに個体数を数えた。生息地全体の面積を A 、1 個の区画の面積を L 、 i 番目の区画の中の個体数を N_i 、生息地全体の推定個体数を T とすると、 T はどのような数式で計算できるか、数式を答えよ。ただし、 i は区画の番号を表す自然数で、例えば、 N_1 は 1 番目の、 N_2 は 2 番目の区画の中の個体数を表す。