

# 生 物

解答用紙の所定の欄に記入すること。

I 形質の現われ方と遺伝に関する以下の文章を読んで、問1～問5に答えなさい。

フランス料理で食材として利用されるカエル（ヨーロッパトノサマガエル、以下トノサマガエルと記す）は、湖沼に広く分布する中型のカエルで、リンネによって1758年に *Rana esculenta* と名付けられた。これに似たコガタガエル (*Rana lessonae*) は体長8 cm ほどの小型のカエルで、小さな池や沼にすむ。一方、ワライガエル (*Rana ridibunda*) は体長14 cm ほどになるヨーロッパ最大のカエルで、大きな湖にすんでいる。

ある小さな池ではコガタガエルとトノサマガエルが生息するが、ワライガエルはいない。この池でカエルの繁殖を観察した。

【観察1】 コガタガエルどうしの交配から生まれたオタマジャクシは、すべてコガタガエルになった（図1）。

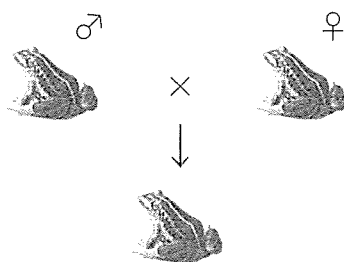


図1. コガタガエルどうしの交配

【観察2】 コガタガエル雄とトノサマガエル雌が交雑し生まれたオタマジャクシは、すべてトノサマガエルになった（図2）。

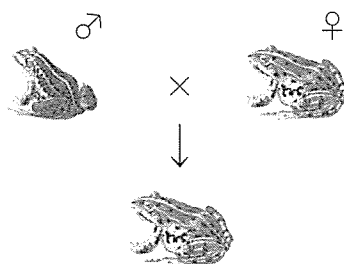


図2. コガタガエルとトノサマガエルとの交雑

問1 観察1と2の結果から、「コガタガエルとトノサマガエルは通常のメンデル遺伝集団における2つの表現型にすぎない」と仮定することもできる。これが正しいとすれば、

(A) どちらが優性の表現型か。カエルの名称で答えなさい。

(B) 観察 2 で生まれたトノサマガエルどうしの交配では、表現型の現われ方はどのようなになるはずだろうか。下の選択肢（ア ～ ケ）から選び、記号で答えなさい。

- (ア) すべてトノサマガエル      (イ) すべてコガタガエル      (ウ) すべてワライガエル  
(エ) トノサマガエル：コガタガエル = 3：1      (オ) コガタガエル：トノサマガエル = 3：1  
(カ) ワライガエル：トノサマガエル = 3：1      (キ) トノサマガエル：コガタガエル = 1：1  
(ク) コガタガエル：ワライガエル = 1：1      (ケ) ワライガエル：トノサマガエル = 1：1

次に、この池にすむトノサマガエルどうしの交配に注目した。

【観察 3】 トノサマガエルどうしの交配から生まれたオタマジャクシは、すべて発生途中で死亡していた。

一方、この池のカエルを実験室に運び、その組織が持つ酵素を調べた。

【実験 1】 まず、トノサマガエルの筋肉から酵素 A を抽出して、その性質を調べたところ、すべての個体が性質の異なる 2 つの型（L 型と R 型）の酵素 A を持っていた。次に、コガタガエルについて同様に調べると、酵素 A は L 型だけであった。さらに、大きな湖にすむワライガエルについても同様に調べると、酵素 A は R 型だけであった。3 種のカエルの結果は次のようになった（表 1）。

	酵素 A (L 型)	酵素 A (R 型)	
トノサマガエル	+	+	＋：検出された
コガタガエル	+	－	－：検出されなかった
ワライガエル	－	+	

表 1 カエル筋肉から抽出された酵素 A の型

問 2 以下の文中の選択肢を記号で選んで、文を完成させなさい。

酵素 A がヒトの ABO 式血液型と同様の遺伝形式を持つと仮定した場合、コガタガエルとトノサマガエルの交配の結果生まれたトノサマガエルの酵素 A の型は、

- [A: ア. すべての個体が L 型と R 型の両方を持つ, イ. 半数の個体が L 型のみを持つ,  
ウ. 半数の個体が R 型のみを持つ] はずであり、それは実験 1 と観察 2 の結果と  
[B: エ. 矛盾する, オ. 矛盾しない]。

観察 1, 2, 3 および実験 1 の結果の合理的説明として、トノサマガエルは、実は、コガタガエルとワライガエルの種間雑種だという仮説が浮上する。一般に種間雑種は繁殖できないことが知られており、これは観察 3 と合致する。そのような雑種だとすれば、トノサマガエルの生態的特徴（両種の中間的性質を示す）も説明できそうだ。しかし、観察 2 の結果はどう考えたらよいのだろうか。そこで、次の実験を行った。

【実験 2】 酵素 A を筋肉だけでなく、卵細胞からも抽出して、その性質を調べた。その結果は次のようになった（表 2）。

	酵素 A (L 型)	酵素 A (R 型)	
トノサマガエル筋肉	+	+	
トノサマガエル卵細胞	—	+	
コガタガエル筋肉	+	—	+: 検出された
コガタガエル卵細胞	+	—	—: 検出されなかった
ワライガエル筋肉	—	+	
ワライガエル卵細胞	—	+	

表 2 カエル筋肉および卵細胞から抽出された酵素 A の型

問 3 次の (A) と (B) について答えなさい。

(A) 実験 2 の結果から、トノサマガエルのゲノムに関し推定したこととして、もっとも適切なものを次の (a ~ f) から選び、記号で答えなさい。ただし、ここでは「ゲノム = 配偶子の持つ遺伝子セット」と考える。

- (a) 体細胞は両親から受け継いだゲノムを持つが、配偶子はコガタガエルのゲノムしか持たない。
- (b) 体細胞と配偶子はどちらもコガタガエルのゲノムしか持たない。
- (c) 配偶子は両親から受け継いだゲノムを持つが、体細胞はコガタガエルのゲノムしか持たない。
- (d) 体細胞は両親から受け継いだゲノムを持つが、配偶子はワライガエルのゲノムしか持たない。
- (e) 体細胞と配偶子はどちらもワライガエルのゲノムしか持たない。
- (f) 配偶子は両親から受け継いだゲノムを持つが、体細胞はワライガエルのゲノムしか持たない。

(B) コガタガエル（ゲノム構成を LL とする）とトノサマガエル（ゲノム構成を LR とする）の交配結果（観察 2）を、配偶子のゲノムの組み合わせによって、60 字以内で説明しなさい。

問4 以下の文中の〔1〕～〔12〕内にふさわしい語句を選択肢（あ～つ）から選び、記号で答えなさい。

一般に有性生殖においては、〔1〕によって〔2〕が半減する過程で〔3〕の間で遺伝子の〔4〕が起こり、多様な配偶子が形成される。それらが接合する際の組み合わせにより、さらに遺伝的多様性が生まれる。トノサマガエルは、通常は別々に生息する〔5〕と〔6〕との種間雑種だと考えられ、この池では〔7〕と交雑することにより系統を維持している。〔8〕の配偶子ではなんらかの方法で〔9〕のゲノムが排除され、〔10〕のゲノムのみを持ったクローンの状態であるため多様性が生じず、突然変異により生じた〔11〕が蓄積していると考えられる。トノサマガエルどうしの交配ではそれらが〔12〕となるために、正常な発生が妨げられると考えられる。

- |            |           |           |         |
|------------|-----------|-----------|---------|
| （あ）トノサマガエル | （い）ワライガエル | （う）コガタガエル | （え）染色体  |
| （お）相同染色体   | （か）性染色体   | （き）遺伝子座   | （く）連鎖   |
| （け）乗換え     | （こ）ホモ     | （さ）ヘテロ    | （し）優性形質 |
| （す）劣性形質    | （せ）対立遺伝子  | （そ）致死遺伝子  | （た）有糸分裂 |
| （ち）減数分裂    | （つ）細胞融合   |           |         |

問5 この池のトノサマガエルと、遠く離れた別集団のトノサマガエルとを交配させ、生まれたオタマジャクシが正常に育った場合、それは何ガエルか、その名称を答えなさい。また、その理由を40字以内で答えなさい。

Ⅱ 細胞内でのタンパク質に関連した以下の文章を読んで、問1～問8に答えなさい。文中につけた下線番号は問の番号と対応している。

真核細胞の細胞質には遺伝情報を翻訳し、タンパク質を合成するための場となっている、(ア)と呼ばれる小さな細胞小器官がある。これは(イ)との結合の位置をずらしながら、(ウ)が運んできたアミノ酸を、次々とつないでいく。どのようなアミノ酸をつなぐかは、(イ)中のコドンと相補的な塩基配列の(エ)を含んでいる(ウ)の種類に依存する。

(ア)は細胞質に分布するほか、(オ)と呼ばれる細胞小器官に結合しているものもある。(オ)に結合した(ア)によって合成されたタンパク質はゴルジ体に運ばれる。1個の細胞の切断面を電子顕微鏡で観察した写真では、ゴルジ体は細胞膜を何枚も、せまい間隔で重ねたように見える。しかし、細胞を連続して切断して得た顕微鏡写真を立体的に再構成してみると、ゴルジ体は膜に囲まれた袋状の構造が、いくつも層状に重なっていることがわかる。これらの袋の周りには球状の小胞が見られる<sub>(2, 3)</sub>。ゴルジ体に運ばれたタンパク質は、層状の袋を経由して、最終的には大部分は細胞外に分泌される。<sub>(4, 5)</sub>°

問1 空欄(ア～オ)にあてはまる語句を記せ。

問2 下線部の記述内容を反映させ、ゴルジ体を立体的に図示しなさい。ゴルジ体を一部切断して見せ、袋の形がわかるようにすること。

問3 ゴルジ体の膜は細胞膜と同じように1枚の膜であるが、細胞内には2枚の膜できている構造物がある。それは何か。動物細胞の場合で2つ挙げなさい。

問4 合成されたタンパク質が分泌されまでの過程を明らかにするため、タンパク質合成の原料となる分子を短い時間だけ細胞に取り込ませ、追跡する実験が行われた。追跡を可能とするため、その分子を構成する原子の1つが放射性同位体となっているものを用いた。どの元素の放射性同位体を用いれば、最も確実に、かつ選択的にタンパク質を追跡できるか。元素記号で答えなさい。

問5 問4の実験では、放射性のタンパク質が含まれる部位は電子顕微鏡写真の上では、黒い粒子の集団となって見える。このような実験観察ではゴルジ体がよく発達している細胞を用いるのがよいであろう。どの組織、器官から得た細胞が最適か。1つ選んで記号で答えなさい。

[a:筋肉, b:脂肪, c:小腸, d:脾臓, e:副腎皮質]

問5での電子顕微鏡写真を解析した結果、タンパク質がゴルジ体に運ばれ、その最終的な目的地へ向かって移動して行く方向は一定であり、ゴルジ体の構造と対応していることがわかった。すなわち、ゴルジ体のうち(オ)に近い側(シス面と呼ぶ)から、その反対側(トランス面と呼ぶ)へタンパク質は移動し、細胞外へ分泌される(オは問1でのオと同じ)。ゴルジ

体を介する輸送の機構について、次の仮説が立てられている。

仮説<sub>(6)</sub>：ゴルジ体の袋状の構造は基本的に保たれる（例えば、あるゴルジ体が3個の袋でできている場合、その数が減ったり、形が大きく変わったりすることはない）。分泌されるタンパク質は、袋から小さな芽を出すようにしてできる小胞に包まれて、シス面の袋から離れ、となりの袋と融合する。そして、内容物をその袋のなかに吐き出す。これを繰り返してトランス面を構成する袋へ到達したタンパク質は、ここで作られる小胞（輸送小胞と呼ぶ）に包まれて細胞膜へ輸送される<sub>(7, 8, 9)°</sub>

問6 この仮説ではタンパク質の移動が盛んになると、ゴルジ体の膜が枯渇してしまい、1つ1つの袋が小さくなるのではという疑問が残る。最近、つぎのような実験結果が報告されている。ここから、この疑問への答えを導き出し、100字以内で答えなさい。

最近の実験：ゴルジ体の膜にはタンパク質が埋め込まれているが、シス面とトランス面の膜にはそれぞれ特有のタンパク質があることを利用する（それぞれをシス面タンパク質とトランス面タンパク質と呼ぶことにする）。シス面タンパク質に緑色蛍光を発するタンパク質を、トランス面タンパク質には赤色蛍光を発するタンパク質を、それぞれ組み込む。このようなゴルジ体でシス面の膜の蛍光を時間を追って観察すると、約1分後には、緑から黄色の蛍光に変わり、5分後には赤色蛍光を発するようになった。さらに、輸送小胞が遺伝的変異によって欠損した細胞を用いて、同様の観察を行うと、シス面の蛍光が緑から赤へ変わるのに3倍程度の時間が必要になった。

問7 タンパク質のなかには糖や脂質と結合して分子量が非常に大きくなり、小さな芽を出してできる小胞や輸送小胞に収まらないものもある。これらもゴルジ体の層状構造を通して運ばれるとしたら、どのように運ばれると考えたらよいか。上記の最近の実験を参考にして50字以内で答えなさい。

問8 目的地である細胞膜へ到達すると、輸送小胞の膜の一部は細胞膜と融合し、輸送小胞の内部が細胞外に露出し（“細胞外に開口する”とも表現される）、内部に含まれていた物質は外へ出る。同じことが神経終末において神経伝達物質がシナプス小胞から放出される（開口放出）ときにも見られる。活動電位が神経終末に到達したあと、開口放出が起きるために必要なことは何か、40字以内で答えなさい。

問9 ゴルジ体で運ばれるタンパク質は細胞外へ分泌されるだけでなく、細胞膜などの膜の構成成分にもなる。次のタンパク質のうち、動物の細胞膜に埋め込まれているものをすべて選び、記号で答えなさい。

[ a: 免疫グロブリン,    b: アクチン,    c: アセチルコリン受容体,  
d: 糖質コルチコイド受容体,    e: アドレナリン受容体,    f: ヘモグロビン,    g: シトクロム ]

Ⅲ 眼球の発生、機能に関する、以下の文章を読んで、問1～問7に答えなさい。文中につけた下線番号は問の番号と対応している。

個体は感覚器を通じて環境情報を獲得し、その情報の分析結果に適切に反応することで環境に適応する。個体発生において、主要な頭部感覚器は、神経管と種々の表皮肥厚（後者を外胚葉板と呼ぶ）との相互作用によって形成される。最も前方に位置する外胚葉板は嗅板と呼ばれ、嗅覚を司る嗅神経の神経節を形成する。眼球の誘導には、神経管から派生した脳の一部である（ア）が表皮と接触し、（ア）によって誘導を受けた表皮の細胞群は水晶体板を形成する。その後、水晶体板は内部へと陥入、分離し、球状の水晶体を形成する。水晶体の機能に関与する筋組織として、（イ）、（ウ）の2つの筋組織が形成される<sup>(2)</sup>。このうち（イ）は瞳孔の大きさを調節することで、網膜に入る光量を調節する。分離した水晶体は表皮へと働きかけ、角膜の形成を誘導する。このように、誘導を受けた組織がさらに他の組織の誘導を行い、機能的な臓器としての形態を完成させていく過程を「（エ）」と呼ぶ。

水晶体により誘導を受け形成された角膜は、当初、平面状であるが、その後、外に向けて球状に湾曲する<sup>(3)</sup>。この角膜湾曲の過程には物理的な要素が重要な役割を果たす。角膜に湾曲が生じる時期には、眼球全体の発生が進行し、眼内液（眼球内を満たすリンパ液の一種）によって、眼内に圧力（眼内圧）が生じる。この眼内圧によって角膜は外側へ球状に湾曲した形態をとるようになる。このことは、約60年前に、発生期のニワトリを用いた実験で証明されている<sup>(4)</sup>。通常、組織の生存に必要な酸素や栄養は血液・血管を通して供給されるが、角膜では、角膜表面の涙液（いわゆる「なみだ」）や角膜と水晶体との間を流れる眼内液から酸素・栄養が供給されている<sup>(5)</sup>。

一方、（ア）は水晶体を包み込むように折れ曲がり、二層からなる（オ）を形成する。（オ）内層の細胞群は急激に増殖分化し、視細胞、視神経細胞などを含む網膜となる。視神経細胞の軸索は、眼球の基部で（カ）に集合し、眼球外に出て視神経と呼ばれる束となり、中枢へと向かう。この視神経細胞の軸索を介して電気信号を大脳の視覚野へ伝達する。網膜によって受容された光刺激は、この視覚野で視覚情報として処理される<sup>(6)</sup>。（オ）外層の細胞群は、網膜の最外層に一層の特殊な細胞層を形成し、眼球機能に重要な役割を果たす<sup>(7)</sup>。

問1 空欄（ア）～（カ）にあてはまる語句を記せ。

問2 眼球におけるヒトの加齢変化の一つとして、（ウ）の機能の低下が挙げられる。（ウ）の収縮能が低下すると、眼球の機能に対してどのような影響が出るかについて、「水晶体」を文中に含めて40字以内で説明しなさい。

問3 角膜の湾曲の意義を、眼球の感覚器としての機能を踏まえて「水晶体」を文中に含めて40字以内で説明しなさい。

問4 この実験について、どのような実験を行い、どのような結果を得ることで、角膜湾曲獲得における眼内圧の必要性を証明したかを推定し、60字以内で説明しなさい。

問5 角膜では、酸素・栄養がこのような特殊な様式で供給されている理由を、30字以内で説明しなさい。

問6 マウスの右眼球の視神経を眼球から出た直後の部位で切断すると、右目の視覚が失われる。一方、右大脳の視覚野が損傷を受けると、右目と左目の視覚がともに、それぞれ一部だけが損なわれる。この現象から類推される視神経細胞の軸索の走行の特徴について、60字以内で説明しなさい。

問7 この網膜最外層の一層の細胞層の特徴（他の網膜の細胞にはない性質）とはどのようなものか（特徴）。それが眼球機能に重要な理由を説明せよ（理由）。それぞれ、25字以内で答えなさい。