

生 物

1

花が咲き、種子をつける植物を種子植物という。種子は胚と胚乳を種皮で包んだものである。種子植物には、めしべの基部にある子房が胚珠を覆っている被子植物と、子房がなく胚珠がむきだしの裸子植物とがある。

被子植物では、花が小さなつぼみのとき、おしべの葯の中で花粉母細胞が減数分裂によって花粉四分子と呼ばれる4個の細胞になる。花が開く頃になると、花粉四分子のそれぞれは、不均等な細胞分裂によって花粉管細胞とその中にある雄原細胞に分かれ、その後、成熟した花粉となる。めしべの柱頭に付着した花粉は発芽して、胚珠の方向に花粉管を伸ばし、花粉管が胚のう内へ進入する。次に、花粉管から放出された2個の精細胞のうち、1つは卵細胞と受精し、もう1つは中央細胞と受精する。この現象を重複受精という。重複受精の結果、卵細胞は胚へ、中央細胞は胚乳へと発達する。また、多くの被子植物では、おしべとめしべが同じ花の中に共存するので、自家受精を行うことが可能である。

花に集まる代表的な昆虫としてミツバチが挙げられる。ミツバチはコロニーを形成し、コロニーでは生殖個体と非生殖個体が共存し、労働の分業や共同育児を行うなど、高度に組織化されている。このような昆虫を社会性昆虫と呼ぶ。ミツバチのコロニーは約2万匹の個体から構成されている。その中に1匹だけいる女王バチが卵を産み、その他の雌は働きバチである。女王バチは受精卵と未受精卵を産み分けることができ、未受精卵からは雄バチが生まれる。雄バチは巣内では全く働かないで蜜や花粉を食べるだけだが、繁殖期になると巣から飛び立ち女王バチを見つけて交尾する。受精卵からかえった幼虫のうち、女王バチになる個体以外は全て働きバチになる。

働きバチの仕事には内勤と外勤があり、これは羽化後の日数によって決まる。羽化後すぐに行うのが内勤で、巣内の掃除、幼虫への給餌、女王バチの世話、巣内の換気行動、蜜の受け取りと貯蔵などがある。そして、羽化後20日くらいか

ら外勤である採餌行動^{さいじ}を行うため巣外へ出る。花の蜜や花粉を巣内に持ち帰った外勤の働きバチは、巣の中で8の字ダンスをして、仲間に餌場までの距離や方向を伝える^{m)}。このダンスを使ったコミュニケーションにより仲間の外勤バチが効率よく採餌することができる。このミツバチのユニークなコミュニケーション能力にはミツバチの高い学習・記憶能力が関係している。

また、ミツバチは匂いを学習・記憶することができる。ミツバチは砂糖水を好み、少量の砂糖水を触角につけると、口吻^{こうぶん}を伸ばして砂糖水を飲もうとする。これを吻伸展反応と呼ぶ。ある匂いをかがせた直後に砂糖水を与えることを繰り返すと、匂いを提示しただけで吻伸展反応を示すようになる。これを「匂いと報酬の連合学習」^①という。匂いを学習する能力を示す昆虫はミツバチだけではない。分子生物学的な研究手法が豊富に確立されているショウジョウバエは、電気ショックを罰として与えると、「匂いと罰の連合学習」をすることができる。匂いと罰の連合学習によって形成された記憶は、その保持時間の違いにより短期記憶、長期記憶などに分けられる。近年、様々な遺伝子組換え技術ⁿ⁾が開発され、ショウジョウバエでは学習・記憶の分子レベルの研究が進められている。例えば、転写調節因子(転写調節タンパク質)^{o)}の1つである CREB をコードする遺伝子の変異体では、短期記憶は正常だが長期記憶が著しく失われている。

問題 1 下線部 a)～o)に関連した次の問題に答えよ。

a) 多くの被子植物では花卉が発達している。花卉の繁殖における役割を1つ答えよ。

b) 種子について次の問いに答えよ。

ア) 種子には温度や水分の条件が適切であっても、光が照射されないと発芽しないものがある。この性質は発芽後の植物の生活においてどのような利点があると考えられるか、答えよ。

イ) 種なしブドウをつくる際にジベレリンが使われる。ジベレリンのどのような作用により種なしブドウが作られるか、答えよ。

- c) 胚乳の役割を答えよ。
- d) 種皮で包むことの利点を1つ答えよ。
- e) 中生代末期に多くの裸子植物が絶滅した。絶滅した要因として考えられていることを答えよ。
- f) 減数分裂について次の問いに答えよ。
- ア) 減数分裂第一分裂の前期から中期では、体細胞分裂の前期から中期とは異なる現象が観察される。どのような現象か、答えよ。
- イ) 減数分裂により、多様な遺伝子の組み合わせをもった配偶子が形成される。この多様性はどのような仕組みによって起こるか、2つ答えよ。
- g) ある細胞から誘導物質が分泌されることによって、花粉管の胚のう内への進入が起こる。この細胞の名称を答えよ。
- h) 重複受精の利点として考えられることを答えよ。
- i) 種の生存にとって、自家受精の有利な点と不利な点を1つずつ答えよ。
- j) 社会性昆虫にはミツバチの他にどのようなものがあるか、以下から全て選んで答えよ。
ゴキブリ、シロアリ、カメムシ、チョウ、アブ、アリ
- k) 昆虫の卵のように、卵黄が中心に集まっている卵の名称を答えよ。また、そのような卵の卵割の様式を答えよ。
- l) 昆虫の羽化や脱皮を誘導するホルモンの名称を答えよ。

- m) 餌場までの距離や方向は、ダンスのどのような要素によって仲間に伝えられると考えられているか、答えよ。
- n) 遺伝子組換え技術で DNA を切断する「はさみ」や DNA 同士をつなぐ「のり」として使われる酵素の総称名をそれぞれ答えよ。また「はさみ」として働く酵素が切断する DNA の配列の特徴を答えよ。
- o) 真核生物において、転写調節因子はどのようなしくみで転写を調節しているか、答えよ。

問題 2 下線部①について、次の問題に答えよ。

ミツバチを使って匂いと報酬の連合学習実験を行った。匂い物質として 1-ノナノール(N)と 2-ヘキサノール(H)を用いた。また報酬として砂糖水を用いた。20 匹のミツバチのそれぞれに対して図に示したように、N の匂いを 4 秒間嗅がせ、匂いを提示して 3 秒後から砂糖水を 3 秒間与えた(N の後に砂糖水を与えたものを「N+」と表示する)。この時、匂いだけを与えている最初の 3 秒間に口吻を伸ばすかどうかを調べた(学習テスト)。この 5 分後に 2 回目の試行として H のみを 4 秒間嗅がせた(「H」と表示する)。ここでも最初の 3 秒間に口吻を伸ばすかどうかを調べた。この後、H, N+, N+, H, H, N+, N+, H の順番で計 10 回の試行を 5 分間隔で繰り返して行い、それぞれの試行における吻伸展反応の有無を調べた。表には実験結果を、吻伸展反応が起こった場合は「○」で、吻伸展反応が起こらなかった場合は「—」で示した。

- 1) 表に示す実験結果から、匂いと報酬の連合学習ができるようすを示すグラフを描け。
- 2) N が連合学習しやすい匂いであった可能性を否定するためには、どのような実験を行えばよいか、答えよ。

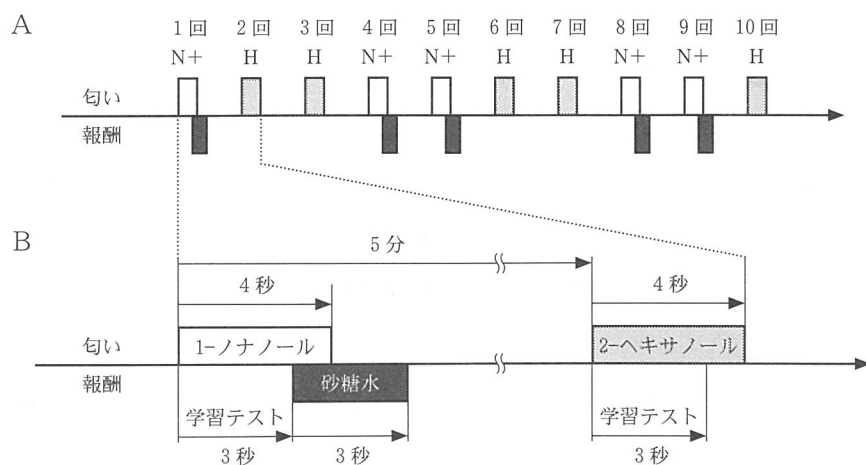


図 実験のタイムスケジュール

注) BはAの一部を拡大したものである。

表 実験結果

試行 個体 No.	1回	2回	3回	4回	5回	6回	7回	8回	9回	10回
	N+	H	H	N+	N+	H	H	N+	N+	H
1	—	—	—	—	○	—	—	○	○	—
2	—	—	—	—	○	—	—	○	○	—
3	○	○	○	○	○	○	—	○	○	○
4	—	—	—	—	○	—	—	○	○	—
5	—	—	—	○	○	—	—	—	○	—
6	—	—	—	—	○	—	—	○	○	—
7	—	—	—	○	○	—	—	○	○	—
8	—	—	—	—	—	—	—	○	○	—
9	—	—	—	○	○	—	—	○	○	—
10	—	—	—	○	○	—	—	○	○	—
11	○	○	○	○	○	○	○	○	○	—
12	—	—	—	—	—	—	—	○	○	—
13	—	—	—	○	○	—	—	○	○	—
14	—	—	—	○	○	—	—	○	○	—
15	—	—	—	○	○	—	—	○	○	—
16	—	—	—	—	○	—	—	○	○	—
17	—	—	—	—	○	—	—	—	○	—
18	—	—	—	○	○	—	—	○	○	—
19	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20	—	—	—	—	—	—	—	○	○	—

生物を分類する時に基本となる単位は「種」である。これまでの分類のやり方は、スウェーデンの生物学者カール・フォン・リンネが18世紀に考えた、主として発生・形態・体制で分類する方法である。現在、脊椎動物は哺乳類が5,513種^{a)}、鳥類が10,425種、爬虫類^{はちゅう}が10,038種、両生類が7,302種、魚類が32,900種知られている(2014年の国際自然保護連合による報告)。一方、種の数が圧倒的に多いのは昆虫の仲間^{b)}で80万種以上存在する。しかし、まだ見つかっていない種を合わせると、地球上に存在する生物種は870万種に達するともいわれている。

世界では1万種を超す鳥類も日本においては約700種程度しかない。ほとんどの鳥は飛ぶことができるため、鳥類の大きな特徴として「飛翔」^{c)}が挙げられる。鳥の飛翔を一般に用いられている分類に従ってまとめると、4つのタイプに分けることができる。1つ目は、羽ばたき飛行(フラッピング)。これは翼を羽ばたきながら前進する飛び方で、スズメやカラスの飛び方がそれに当たる。2つ目は、滑空(グランドイング)。3つ目は、帆翔^{はんしゅう}(ソアリング)で、トビが空高く輪を描いている時やセグロカモメがフェリーの近くで翼を動かさずに浮かんでいるような時の飛び方である。4つ目は、停止飛行(ホバリング)。これは体を同じ位置に保つために行う飛翔で、最も有名な例はハチドリである。鳥の飛翔にとって尾羽は非常に重要である。尾羽は飛翔中の平衡を保ち、舵の役目をしている。特に帆翔中の鳥は、尾羽を傾けるだけで簡単に方向を変えることができる。

^{d)}鳥の渡りはよく知られた習性であるが、昼間に渡りをする鳥は、一般には強い飛翔力を持ち、遠くのエサを見つけて飛びながら捕えることができる種が多い。一方、夜間に渡りをする鳥は、通常飛翔力が弱く、臆病な種が多い。ムシクイ^{e)}という鳥は、夜の渡りで方向を定める時に星座を利用しているという報告がある。また、最近の研究によると、眼の中に存在するある種の光受容タンパク質が磁場に反応して、方向を定めているといった報告もある。

^{f)}鳥類の脳で最も発達しているのは視覚をつかさどる部位である。また、聴覚に関する脳の部分もよく発達し、飛翔に重要な小脳もよく発達している。フクロウなどの両眼が前向きについている鳥を除くと、ほとんどの鳥の眼は頭部の両側

に離れて位置しているために、単眼視という見方をする。鳥は飛翔しながら獲物を追跡する時に、すばやく遠くから近くへと焦点を調節する必要があるため、水晶体だけでなく角膜の曲率も変えている。網膜も驚くほど発達しており、視細胞の数はヒトに比べて多い。また、鳥類はヒトと同じ2種類の視細胞を持つが、^{g)}網膜にはヒトに比べて血管の分布が乏しい。

h) 鳥類は他の脊椎動物よりも赤血球が多いといわれている。鳥の赤血球は楕円球ⁱ⁾形で核を持った細胞である。血液中のブドウ糖の濃度は、ヒトの2～3倍、体温も40℃程度でヒトよりも高いことが特徴である。心臓血管系をみると、鳥類の^{j)}血液の循環システムは、哺乳類に極めて類似している。泌尿器系については、腎臓は左右1対あり、^{k)}それぞれが三葉に分かれており、機能はヒトと同じように体内の水分と塩分の調節をしている。鳥の腎臓からはほとんど固形に近い尿酸が分泌される。尿酸は消化管末端からの排出物とともに、^{ふんにょう}白っぽい糞尿として、すぐに体外に排出される。鳥類も^{l)}精巣または卵巣が2個あるが、卵巣については、ほとんどの種で左だけが発達し、右の卵巣は退化する。繁殖期が近づくと、精子や卵の形成が盛んに行われるため精巣や卵巣は大きくなるが、繁殖期が終わると、見つけることが難しいほど小さく退化してしまう。このことは、鳥類の^{m)}適応の1つが飛翔時の体重減少にあることとうまく合致している。

問題 1 下線部 a)～m)に関連した次の問題に答えよ。

a) 下の表は、共通の祖先から進化した5種の脊椎動物(A～E)のあるタンパク質のアミノ酸配列を比較して、2つの種間で異なるアミノ酸の数を表したものである。この表を基に、脊椎動物(A～E)の進化の道すじ(系統関係)を図で示せ(どの種とどの種が近いか、分岐の道すじが分かれば良い)。

動物 A					
動物 B	64				
動物 C	52	37			
動物 D	71	82	80		
動物 E	78	17	43	92	
	動物 A	動物 B	動物 C	動物 D	動物 E

b) 生物種数が最も多い陸上バイオームを答えよ。

c) あきら君は観察実験を考えた。通学路にある電柱やその周辺には鳥がよくとまっている。しかし注意深く見ると、たくさんとまっている電柱もあれば、ほとんどとまっていない電柱もある。そこで、どの電柱に鳥がよくとまっているのかを調べようと考えた。観察期間を1週間と決めたが、学校があるので1日中観察することもできないし、電柱にカメラを設置することもできない。あきら君はどのような方法を考えて、鳥がよくとまっている電柱を決めたか、その方法を述べよ。

d) 尾羽を傾げるだけで簡単に方向転換ができるように、帆翔中の鳥は尾羽をどのようにしていると考えられるか、答えよ。

e) このことを明らかにするために、プラネタリウムを使って実験が行われた。どのような実験を組み合わせれば証明できると思うか、述べよ。

f) 鳥類の脳も灰白質と白質に分かれるが、2つの部位の構造の違いについて答えよ。

g) 夜行性の鳥では何という視細胞が多いと考えられるか、またそう考えた理由も答えよ。

h) 血管の分布が乏しい利点として考えられることを答えよ。

i) 赤血球が多い利点として考えられることを答えよ。

j) 魚類と鳥類における血液の循環システムの違いが分かるような簡略図を、下記の用語を用いてそれぞれ描け(必要に応じてこれら以外の用語も使用せよ)。また、図中に心臓から送りだされた血液の流れを矢印で示せ。

心房, 心室, 動脈, 静脈, 組織(解答用紙の図を用いよ)

k) 次の16個の用語すべてを用いて、腎臓の働きを説明せよ(用語は複数回使用しても良い)。

バソプレシン, 鉱質コルチコイド, 尿酸, グルコース, アミノ酸,
尿素, 水, タンパク質, 血球, ナトリウムイオン, 細尿管(腎細管),
ボウマンのう, 糸球体, 血管(毛細血管), 原尿, 尿

l) ある程度大きくなった精巣を両方外科的に除去すると、脳下垂体から分泌される「ホルモンA」の血液濃度が上昇する。このことは、普段、精巣は「ホルモンA」に対してどんな働きをしていると考えられるか、答えよ。

m) 生殖腺を退化させること以外に、鳥類の体には体重を減少させるためにどのような特徴があるか、2つ答えよ。