

生 物

1

動物の配偶子には卵と精子があり、それらが融合する現象が受精である。受精によって形成される最初の細胞が受精卵であり、受精卵では卵割と呼ばれる体細胞分裂が起こり発生を開始する。卵割によって生じる細胞を割球と呼ぶ。卵割は連続して起こり、卵割が進むと桑実胚を経て胞胚になる。

ウニやカエルでは胞胚期を過ぎると、胚の表面の細胞が内部に向かって陥入し、原腸の形成が始まる。原腸を形成し始める時期の胚を原腸胚という。原腸胚を構成する細胞群は外胚葉、中胚葉、内胚葉の3種類の胚葉に分かれる。3種類の胚葉を構成する細胞は発生の進行に伴い一定の秩序に従って分化し、いろいろな組織や器官を形成する。

上記の発生過程を経て、カエルの受精卵は幼生であるオタマジャクシへと変化する。その後、チロキシンの血中濃度が上昇し、オタマジャクシの尾部の退縮などが起こりカエルとなる。オタマジャクシの腹腔内にチロキシンを繰り返し投与すると、カエルへの変化が促進される。また、チロキシンを投与したオタマジャクシでは投与していないオタマジャクシと比較して、甲状腺が萎縮する。

問題 1 下線部 a)～f)に関連した次の問題に答えよ。

a) 卵と精子について次の問題に答えよ。

ア) 多細胞動物での精子形成過程と卵形成過程の異なる点を答えよ。

イ) 多細胞動物の卵には動物極と植物極がある。動物極はどのようにして決まるか答えよ。

b) ウニの受精における先体の働きを答えよ。

c) 卵割について次の問題に答えよ。

ア) 卵割が通常の体細胞分裂と異なる点を答えよ。

イ) ある多細胞動物の受精卵を RNA 合成阻害剤で処理した場合、卵割を繰り返して胞胚まで進むが、その後発生を停止した。この実験結果から考えられることを述べよ。

d) 中胚葉から分化する細胞の1つがリンパ球である。リンパ球には T 細胞と B 細胞があり、分化する過程で多様な抗原に対する特異的な受容体ができる。

ア) B 細胞が多様な抗体をつくるしくみを簡潔に答えよ。

イ) 抗体産生における T 細胞の役割を答えよ。

ウ) ノードマウスでは自己と異なる組織を移植しても拒絶反応を示さない。その理由を答えよ。

e) チロキシンは脂溶性ホルモンの1つである。脂溶性ホルモンの受容体は細胞のどこに存在するか答えよ。

f) アポトーシスが促進されることによって、オタマジャクシの尾部の退縮が起こる。アポトーシスが起きている細胞における変化を1つ答えよ。

問題 2 下線部①に関連した以下の実験について次の問題に答えよ。

1) クシイモリの初期原腸胚の原口背唇をスジイモリの初期原腸胚の将来腹側になる部分に移植した。その結果、原口背唇は自身の発生運命に従って脊索に分化した。さらに、そのまわりの外胚葉からは神経管などが分化し、本来の胚とは別に、ほとんど完全な構造をもつ二次胚が形成された。この結果から考えられることを答えよ。

2) アフリカツメガエルの未受精卵に紫外線を照射して核のはたらきを失わせた。この未受精卵に胞胚期，神経胚期または尾芽胚期の細胞から取り出した核を移植した。その結果，正常に発生して成体になる個体の割合はどのように変化すると考えられるか答えよ。

問題 3 下線部②で甲状腺が萎縮する理由を答えよ。

2

サンゴ礁は海の面積の0.2%程度にすぎないが、そこには海洋生物の3分の1から4分の1の種が生息しているといわれている。環境省は2017年7月、前年に大規模な白化現象が起きた沖縄県の海で、サンゴ^{a)}の状態を調査した結果を報告した。生きたサンゴが海底の50%を覆っていた石垣島の西岸では2017年は5%に減少、宮古島の北東岸では40%から10%に減少していた。サンゴは触手を出して水中のプランクトンなどをとらえて栄養をとっているが、ほとんど動かないため、これだけでは十分に栄養がとれない。そこでサンゴは不足した栄養分を他の生物から補ってもらっている。ほとんどのサンゴは茶色や褐色に見えるが、この色はサンゴの色ではなく褐虫藻^{かつちゆうそう}といわれるプランクトンの色である。褐虫藻は光合成で作った有機物をサンゴに分け与え、これがサンゴの主な栄養源になっているのである。

ところが、褐虫藻は水温が高い状態が続くとサンゴから抜け出るといわれている。褐虫藻が抜けるとサンゴの骨格である炭酸カルシウムの白い色が目立つようになり(白化現象)、この状態が1ヶ月も続くと、栄養が不足するためサンゴは死に至る。最近では褐虫藻が逃げ出すのではなく、高温により光合成能力を失った褐虫藻をサンゴが消化してしまう結果、白化現象が起こると考える研究者もいる。つまり、高温によりサンゴと褐虫藻の共生関係^{b)}が崩れるのである。これまで水温以外の要因も指摘されてはいるが、やはり主な原因は水温の上昇である。沖縄県のサンゴに最適な水温は25~28℃といわれているが、2016年の8月の水温は31℃にもなり、そのために大規模な白化が起きてしまったのである。

沖縄県ではサンゴを増やすための方策として、サンゴの養殖が行われている。海中で折れるなどして育たなくなったサンゴを、マグネシウムなどで作られた土台にくくりつけ、海中で育てる。サンゴは有性生殖と無性生殖^{c)}で増えるが、養殖は無性生殖を利用した方法である。受精はしていないのでクローンである。しかし、サンゴの場合クローン同士はほとんど有性生殖をしないため、遺伝的に異なるサンゴのクローン^{d)}を近くで育てることにより、サンゴ礁を再生しようというのである。

一方海外では、高温域に生息する熱に強いサンゴの遺伝子を調べることによ

り、耐熱性の遺伝子を見つけようという試みもなされている。世界最大のサンゴ礁グレートバリアリーフでは、緯度の高いところから低いところまでサンゴが広がっている。緯度が高いオルフェウス島は夏の水温が 29℃ 程度である。一方、赤道に近いプリンセス・シャーロット湾では水温は 31℃ を超える日もある。どちらにも生息しているハイマツミドリイシ(雌雄同体)というサンゴを比べれば、高温に耐えるために必要な遺伝子を見つけることができるのではないかと考え、それぞれの場所で育ったハイマツミドリイシを交配させる実験が行われた。その①結果、耐熱性の遺伝子が存在する可能性が得られたのである(図 1)。

サンゴの産卵時期は種類によって異なるが、沖縄ではミドリイシ類は 5～8 月、キクメイシ類は 7～8 月に産卵する。ミドリイシ類の多くは、満月の大潮の前後数日の夜間(日没後)に一斉に産卵する。産卵時期は、同じ海域でも海水温度や海況などの影響を受けるため、毎年若干の違いが生じる。

同じように、月夜の晩の決まった時刻に集団産卵することで有名なのが、クサフグである。クサフグは春先になると、脳下垂体において生殖腺刺激ホルモン遺伝子の転写が活発になり、それに伴って卵巣や精巣から分泌される性ホルモンも上昇する。その後、5～7月の大潮前後の数日の間に海岸のある特定の波打ち際で集団産卵する。産卵場に集まる時刻は、場所ごとに厳密に決まっていて分単位で予想できるという。産卵のために集まるクサフグは、一般にまだ潮位がそれほど高くない満潮の 2～3 時間前には産卵場に現れ、群れで産卵する場所の手前を行ったり来たりする。満潮の 1～2 時間前になって潮位が上がると、グループ単位で産卵が始まる。数十匹の雄の集団が 1 匹の雌を活発に追尾し、時には雌の腹部にかみついて雌の放卵を誘う。雌が波で打ち上げられた後に、尾びれを振りながら水中に戻ろうとする時に放卵が起こるが、そのタイミングに合わせて周りの雄が一斉に放精をする。満潮は 1 日に 2 回訪れるが、多くの場合夜に産卵し、日中には産卵しない。

このような月周に同調して産卵する魚類には、他にスズメダイやアイゴの仲間が知られている。月周産卵リズムには、潮汐(潮の満ち引き)や月光(月明かりの強さ)などの月に由来する環境の周期的変化が重要である。アイゴの仲間を用いた実験では、月光が産卵に影響するという結果が得られている。このような月周産卵リズムは、^②前述したサンゴ類やカニ類などでも広くみられる現象である。

問題 1 下線部 a) ~ g) に関連した次の問題に答えよ。

a) ア) サンゴの系統分類上の名称(門に相当する名称)と発生学上の特徴を答えよ。

イ) サンゴの仲間の神経系の名称とその形態学的な特徴を答えよ。

b) 熱水噴出孔付近に生息するシロウリガイやハオリムシと共生関係にある生物を答えよ。

c) 無性生殖の種類を3つ答えよ。また、有性生殖と比較したメリットを答えよ。

d) サンゴのクローンを選別するとき用いた方法は、最近では刑事事件等で容疑者を特定する時にも使用される方法である。この方法では、何を比較することにより個体を識別しているのか答えよ。

e) 魚類の中には、クサフグのような外洋域と沿岸域をめぐる魚とは異なり、河川と海との間を行き来する回遊魚(通し回遊魚という)も存在する。通し回遊をする魚にとって、体液の塩類濃度の調節は重要である。河川にいる時と海にいる時で、どの器官がどのように働き調節しているのか、それぞれ2つずつ答えよ。

f) 解答欄の生殖腺刺激ホルモン遺伝子に、次の用語をすべて用いて、遺伝子の転写を調節している様子の模式図を描け。ただし、それぞれの用語が示す部分を引き出し線を用いて示せ。

RNA ポリメラーゼ, 転写調節領域, 基本転写因子, プロモーター,
転写調節因子

g) 尾びれにホルマリンなどの異物を注射して、人工的に炎症を起こさせた。この時血管に起こる変化と、どのような血球がそこに集まってくるか、それぞれ2つずつ答えよ。

問題 2 下線部①に関して、以下の実験を行った。次の問題に答えよ。

低温のオルフェウス島から A と B という 2 個体を採取し、高温のプリンセス・シャーロット湾から C と D の 2 個体を採取した。次に、これらの個体からそれぞれ卵と精子を採取し、これを様々な組み合わせで交配させた。こうして誕生した幼生を 35.5℃ の高温状態で 37 時間まで飼育し、生存率を調べた。その結果を図 1 に示した。図 1 の各線において、前に書いた方が卵を、後に書いた方が精子の由来個体を示す。

- 1) どのグラフとどのグラフを比較することで、どのような仮説を導き出すことができるか答えよ。
- 2) 次に、その仮説をさらに確かなものにするには、どのような個体の組み合わせの実験を行えばよいか答え、なぜその組み合わせを選んだのか述べよ。

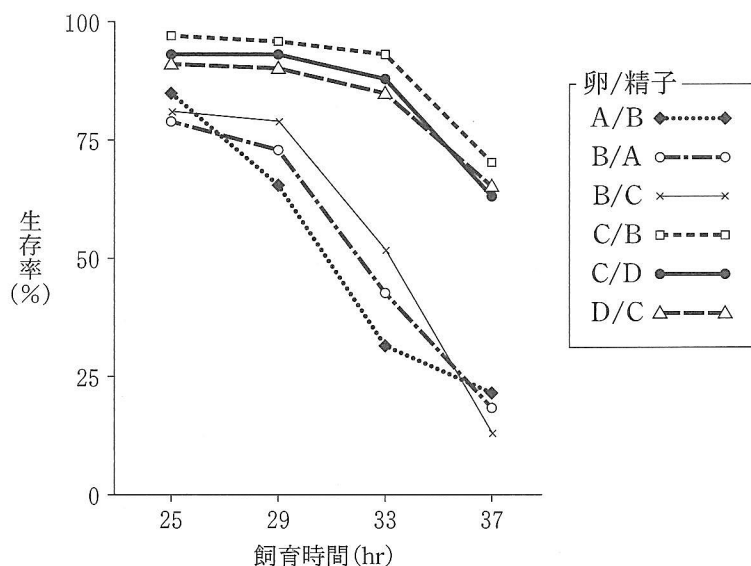


図 1：ハイマツミドリイシの生存率

問題 3 下線部②に関して、潮汐とは無関係に月光が関与していることを明らかにするための実験を計画した。どのような実験をすれば下線のような結果を導き出せるか、実験の概要を述べよ。

古代ギリシャの哲学者であるアリストテレスは、ヒトの感覚を5つに分類した。それらは視覚、^{a)}聴覚、^{b)}触覚、味覚、嗅覚、すなわち五感と呼ばれるものである。現代ではこれら五感に加えて、平衡感覚、痛覚、温覚、冷覚などが知られている。これらの感覚はそれぞれ特異的な感覚器官によって検出される。感覚器官を構成し、最初に刺激を検出する細胞を受容器細胞と呼ぶ。

脊椎動物の網膜には視細胞、連絡神経細胞(水平細胞、^{c)}双極細胞、アマクリン細胞)、神経節細胞(視神経細胞)などの5種類のニューロンがある。視細胞は光を電気信号に変換する受容器細胞で、桿体細胞と錐体細胞がある。水平細胞は視細胞どうしを連絡し、ある視細胞が受けた信号を周囲の視細胞に伝える。双極細胞は視細胞と視神経細胞とを連絡する。アマクリン細胞は双極細胞から視神経細胞への伝達信号を調節する。視神経細胞は網膜から脳へと信号を伝える出力細胞で、その軸索の束が^{d)}視神経である。網膜にはこれらの細胞が整然と並んでおり、いくつかの層を形成している。網膜の最も外側の層は網膜色素上皮層で、そこから内側に視細胞の光受容器部分である外節部で構成される桿体錐体層、視細胞の核が存在している外顆粒層、その他の細胞やシナプスで構成されている外網状層、内顆粒層、内網状層、そして最も内側に視神経細胞層が存在する。そのため光は、これら5つの層を通過して桿体錐体層に到達する。視細胞で電気信号に換えられた光刺激の情報は双極細胞を経て視神経細胞に至るが、それぞれのシナプス結合部位において、水平細胞とアマクリン細胞による側方からの修飾を受ける。網膜の各々のニューロンは桿体錐体層の特定の領域に^{注)}受容野を持つ。例えば視神経細胞の受容野は同心円状であり、中心部分と、それを囲む周辺部分の①2つの部分からなる(図2)。

視覚系において、側方抑制という情報処理機構がある。側方抑制とはニューロン間にある抑制性シナプスによって、1個のニューロンが活動すると周囲のニューロンの活動が抑えられる現象のことをいう。側方抑制の仕組みは1950年代にホールダン・ケファー・ハートラインらによるカブトガニの眼を使った実験で明らかにされ、彼はその業績などで1967年にノーベル医学生理学賞を受賞し

た。カブトガニは2億年前からほとんど進^{e)}化していない節足動物で、多数の個眼からなる複眼を持つ。それぞれの個眼は1個の光受容器細胞(視細胞)を持ち、次の視覚ニューロンにシナプス結合している。

注) 受容野：ある細胞における受容野とは、外界などで生じた刺激がその細胞に神経応答を生じさせる受容器細胞群で構成された領域を示す。

問題 1 下線部 a) ~ e) に関連した次の問題に答えよ。

a) ヒトの耳における受容器を3つ挙げ、それぞれの適刺激と生じる感覚を答えよ。

b) ヒトの味覚の受容器である味覚芽(味蕾)の模式図を描け。さらに味細胞、味神経、支持細胞を、引き出し線を用いて示せ。

c) 網膜に関する次の問題に答えよ。

ア) ヒトの網膜には黄斑や盲斑がある。縦軸を視細胞の数(相対値)とし、網膜上における桿体細胞と錐体細胞の分布のグラフをそれぞれ描け。また横軸のカッコ内に耳側、あるいは鼻側を書け。

イ) タコの網膜には、ヒトの網膜に存在する盲斑がないことから、タコの網膜がどのような構造であるか推測して述べよ。

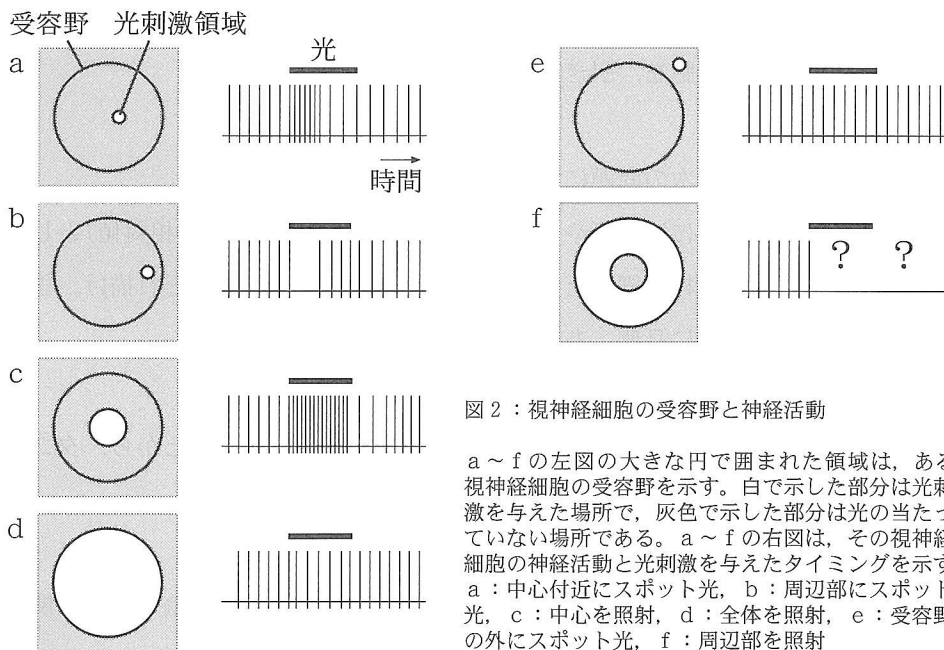
d) 網膜からの情報は視神経を通過して視床に入り、さらに大脳の視覚に関連する領域に送られる。①視覚に関連する領域は脳のどこにあるのか、その領域を解答欄の図の例(例：①精神活動の領域)にならって示せ。また②随意運動の領域と③皮膚感覚の領域も示せ。なお解答欄の図はヒトの脳を横から見た簡略図である。

e) 植物の進化の有力なしくみの1つに、染色体レベルの突然変異がある。どのような突然変異か答えよ。

問題 2 下線部①について、次の問題に答えよ。

ネコの網膜のある視神経細胞内にガラス微小電極を刺入すると、その細胞から神経活動を記録することができる。図2は、ある視神経細胞の受容野とその外側の領域に対応する桿体錐体層のさまざまな領域への光の当て方(a～eの左図)と、その時の視神経細胞の神経活動の結果(a～eの右図)を示している。

図2のfの左図のように光を照射した場合、予想される神経活動を描け。また、a～eの神経活動を比較して、この視神経細胞の受容野内における神経応答の特徴を述べよ。



問題 3 下線部②について、以下の文章を読み、問題に答えよ。

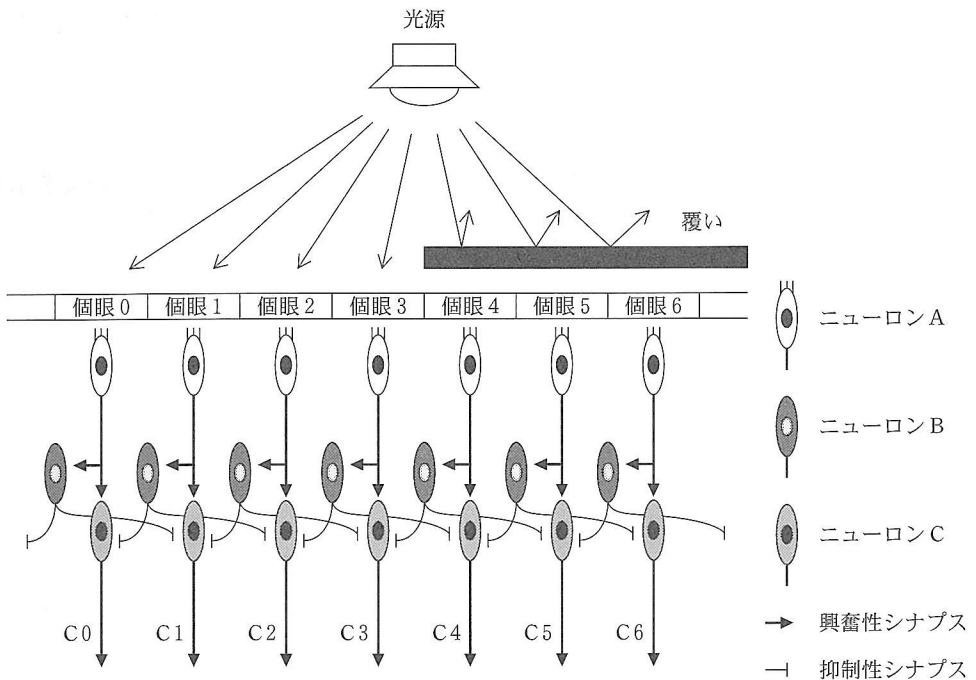


図3：カブトガニの複眼における側方抑制

図3はカブトガニ複眼における側方抑制を示した模式図である。複眼を構成するそれぞれの個眼は、1個の視細胞(ニューロンA)を持ち、そのニューロンAはニューロンBやニューロンCとシナプス結合している。ニューロンCは常に自発的に活動電位を発生しており、その時の活動電位の発生頻度は25回/秒である。光刺激が個眼に来た時、閾値を超えた場合はニューロンAが興奮し、次いでニューロンBとニューロンCをさらに興奮させる。興奮したニューロンAにより情報を受け取ったニューロンCは活動電位の発生頻度をさらに25回/秒増やす。同様に興奮したニューロンAにより情報を受け取ったニューロンBはニューロンCを抑制し、その結果、ニューロンCの活動電位の発生頻度を5回/秒減少させる。

- 1) 図3のようにカブトガニの複眼に閾値を超える強さの光刺激を与える実験において、個眼4～個眼6の上に覆いをかけて光が届かないようにした場合、ニューロンC1～C6の活動電位の発生頻度はどのようになるか。それぞれの発生頻度を計算しグラフを描け。

- 2) このグラフが示す結果は、視覚系におけるどのような有益な効果を示していると考えられるか述べよ。