

平成 22 年度入学者選抜個別(第 2 次)学力検査問題

理 科

注 意 事 項

1. 監督者の指示があるまで、この冊子を開いてはいけません。
2. この冊子は、全部で 25 ページあり、第 1～3 ページは下書用紙です。下書用紙は切り離してはいけません。
3. 解答用紙は、問題冊子と別に印刷されているので、誤らないように注意しなさい。
4. 解答は、必ず解答用紙の指定された欄内に記入しなさい。点線より右側には何も記入しないこと。
5. 入学志願票に選択を記載した 2 科目について解答しなさい。選択していない科目について解答しても無効です。
6. 各解答用紙には、受験番号欄が 2 カ所ずつあります。それぞれ記入を忘れないこと。
7. 解答用紙は、記入の有無にかかわらず、机上に置き、持ち帰ってはいけません。この冊子は持ち帰りなさい。
8. 落丁または印刷の不鮮明な箇所があれば申し出なさい。

生 物

以下の文をよく読んで、設問に答えなさい。解答は解答用紙の指定された欄に記入しなさい。

昆虫採集の思い出

ぼんやりと家の庭を眺めていたら、カラスアゲハがひらひらと濃いオレンジ色のノウゼンカツラの花を訪れていた。我が家の庭はそれほど広くはないけれど、花をつける植物がいくつか植えられていて、季節ごとに花を咲かせる。少し暑くなり始めたこの時期に、ゆったりと咲くノウゼンカツラの花はとてもきれいだ。

あきら君は、まだ小学生の頃に、昆虫採集に夢中になったことを懐かしく思い出した。あの頃、カラスアゲハの標本を作ろうと思って、チョウの翅^{はね}に傷をつけないように捕虫網を慎重に操って網に入れたけれど、網から取り出すときに触ってしまい、黒い鱗粉^{りんぷん}が指について剥^はげたので、がっかりして指を見つめたこともあった。手に付いた鱗粉は、細かい粉のようだった。

チョウの翅の模様

そんなことを思い出したので、さっそく本を引っ張り出して鱗粉について調べてみた。鱗粉は翅全体にあるが、鱗粉1枚は1個の細胞が分化したものだ^{と書かれていた}。本には少し拡大した翅のカラー写真と並んで、鱗粉の一枚一枚がわかる拡大した白黒写真があった(図1)。名前のおり魚の鱗のように細長い団扇^{うちわ}のような構造が並んでいた。この鱗粉の一枚一枚に色がついているので、ちょうど点描で描いたように翅全体に模様ができるというわけなのだ。

鱗粉はチョウだけではなくガ(蛾)の翅にもみられるので、チョウとガを合わせて鱗^{りん}翅^し目にまとめられる¹⁾(現在ではチョウ目と呼ぶことが多くなった)。ガの種数はチョウの20から30倍で、ガの方が圧倒的に多いのだが、多くのガは目立たないためか、ガはチョウよりもなじみが薄い。もう一つはガには毒を持ったもの^{がいて嫌われるためかもしれない}。そういえば、庭にあるツバキとサザンカの硬い葉にチャドクガの幼

虫の群れが発生したことがある。お母さんから頼まれて駆除したのだが、あきら君はしばらくしてからかゆみに襲われて大変だったことを思い出した。チャドクガの幼虫^{A)}には、体表に生えている長い毛とは別に長さ 0.1 mm ほどの毒針毛が数十万本以上生えていて、これがあきら君の皮膚に付着したためである。

カラスアゲハの翅はほとんど黒一色だが、ジャノメチョウの仲間には目玉模様(眼状紋)が見られる(図1)。翅に目玉のような模様があるのは、フクロウやヘビの眼に似た模様によって鳥などの天敵を脅かすためだという説と、模様の付いた翅を頭と誤認させることで、天敵の攻撃²⁾を目玉模様²⁾にそらして重要な頭を守るという説があるらしい。そもそも、こんな同心円状の目玉模様はどうやってできるのだろうか。誰が点描を描いているのだろうか。

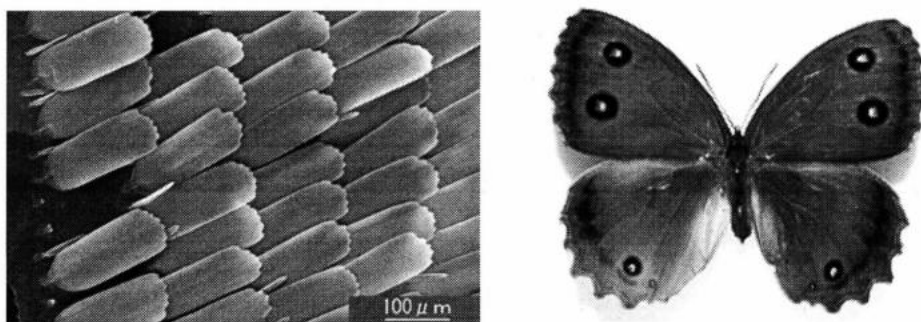


図1 鱗粉の走査型電子顕微鏡写真(左)とジャノメチョウの目玉模様(右)

誰かが翅に目玉模様を描いているわけではないので、^{さなぎ}蛹から羽化して翅が広がる
ときまでに模様ができていなければならない。一体どのようにしてこんな模様を作り
出しているのだろうか。蛹から蝶が羽化するときの映像を見たことがあるが、小さく
しぼんだ(折り畳まれた)翅が広がっていくようすは実に感動的だった。蛹の中はドロ
ドロだと聞いたことがあるが、昆虫の発生は一体どうなっているのだろうか。

成虫原基

チョウのような完全変態をする昆虫は、幼虫が脱皮を繰り返して成長し、ある程度
の大きさになると蛹になり活動を停止する。その後、蛹の背中が裂けて、中から成虫

が出てくる。幼虫と成虫の形態がまるで違うのは、すでに幼虫のときから、成虫原基と呼ぶ成虫の翅や肢^{あし}になる構造が幼虫の体内にできていて、それが蛹になって急激に成長して成虫の体に組み立てられ、やがて羽化するかららしい(図2)。

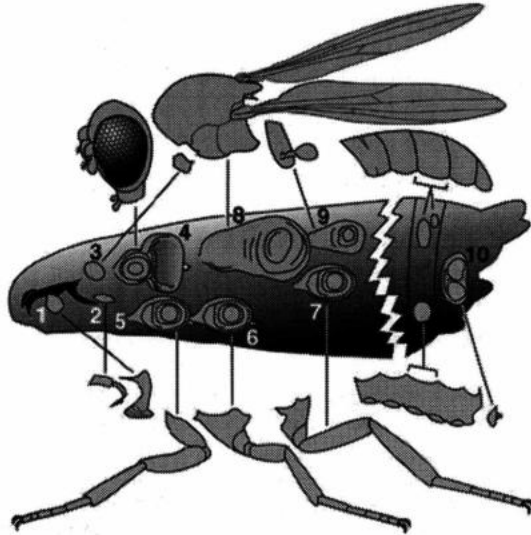


図2 ショウジョウバエの成虫原基

- 1: 下唇, 2: 上唇, 3: 肩片, 4: 眼と触角, 5: 前肢,
6: 中肢, 7: 後肢, 8: 翅, 9: 平均棍, 10: 生殖器

チョウの翅は団扇のような構造をしている。団扇は竹の骨に2枚の紙を張り合わせたものだが、翅では竹の骨に当たる翅脈が支えとなり、これに表裏の2枚の膜が縁でくっついて袋のようになっている。羽化のときには、この翅脈の中に体液が送り込まれて翅が広がっていく。この翅の成虫原基に、鱗粉の元になる細胞が隙間なく並んでいて、それぞれの細胞に色が付けられる。たとえばチロシンというアミノ酸の一種からメラニンが作られて細胞内に蓄積されれば、鱗粉は黒くなる。トリプトファンという別のアミノ酸からは、何段階かの酵素による反応の連鎖によってキサントマチン(図3)という茶色い分子ができて、鱗粉は茶色になる。

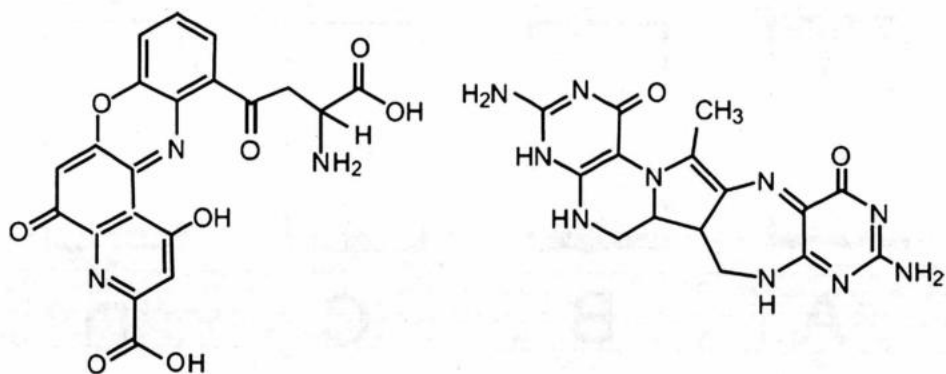


図3 キサントマチン(左, 茶色)とドロソプテリン(右, 緋色)

鱗粉が何色になるかは、このような代謝経路のどちらが動き出すかによって決まる。最近の研究によって、最初に翅脈と翅脈の間に中心点ができ、これを中心に目玉模様ができること、その中心には Notch というタンパク質をコード(塩基配列によってタンパク質のアミノ酸配列を指定)する遺伝子が発現し、これが目玉模様を作る引き金になっていることが明らかになってきた。目玉模様のあるチョウで、発生に伴う翅の成虫原基における Notch の発現を調べてみると、まず翅脈と翅脈の間の領域全体の Notch が発現し(図4 A)、やがて翅脈の中心部に帯状に集まるようになり(図4 B)、ついで羽の付け根側が丸くなったマッチ棒状のパターンになり(図4 C)、最後にその頭の部分のみに限定される(図4 D)という変化をすることが分かった。このようにして Notch の発現が中心点に限定されると、成虫ではこの中心点を焦点とする目玉模様が描かれる。野外で捕獲したさまざまな近縁種のチョウの発生段階における Notch の発現を比較して、A から D に発現が限定されるように進化したと考えられている。

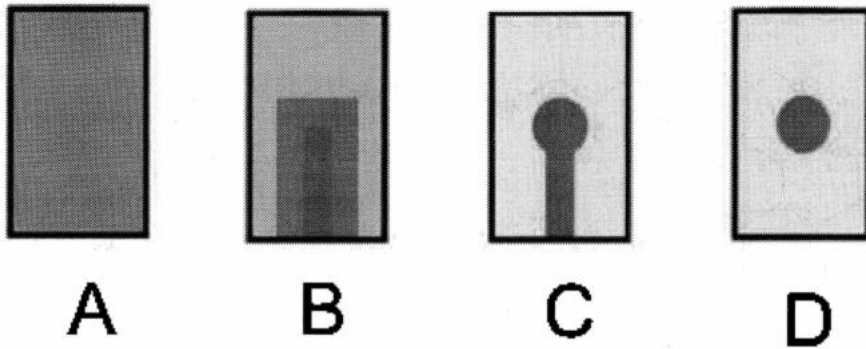


図4 翅脈と翅脈の間にみられる Notch の発現パターンの進化

Notch をコードする遺伝子が中心点に発現すると、これに応じて *Distal-less (Dll)* という遺伝子が発現し、これが周囲に影響を与えて同心円状の模様を作り出す。黒い鱗粉が生じる場所からは、黒い目玉模様が生じるが、成虫原基からこの中心点部分を切り出して、茶色い鱗粉が生じる場所に移植をすると、茶色い目玉模様が生じる。

Notch は膜タンパク質で、この膜タンパク質の細胞膜から外に突き出た部分と、隣接する細胞の別の膜タンパク質の細胞表面から突き出た部分(これが Notch 膜タンパク質と結合して信号となるので Notch リガンドと呼ぶ)が結合すると、情報が細胞内に伝えられるのだという。

Notch タンパク質をコードする遺伝子は、もともとモーガンがショウジョウバエで見つけたもので、翅のふちに切り込み(notch)が生じる突然変異体の遺伝子に命名された。ずっと後になって、この遺伝子が発生のおさまざまな過程に関与すること、さらにショウジョウバエだけでなく哺乳類にも同様な遺伝子があることが分かって、進化的によく保存されていることが明らかになった。

翅の中心点で起っていることは、翅脈の中心に位置した将来鱗粉細胞になる細胞に Notch タンパク質が発現し、周囲の細胞の Notch リガンドの作用を受けることで Dll タンパク質が発現して、これが上で述べた色素形成のスイッチの調節をしているのだと考えられている。Dll は最初、ショウジョウバエの肢の発生に重要な役割をする遺伝子として見つかったもので、肢の発生に使われていた遺伝子が翅の模様形成にも使われていたのだ。

B)

翅の色、眼の色

チョウの翅の色を決める色素代謝の経路は、ショウジョウバエの眼の色の発現にも重要なはたらきをしている。ショウジョウバエの眼は、野生型では赤色だが、白色、緋色(スカーレット)、茶色の突然変異が知られている。

茶色になるのは、すでに述べたようにキサントマチンのためである。一方、ドロソプテリン(図3)によって眼の色は緋色になる。キサントマチンとドロソプテリンの両方が合わさると、野生型の深みのある赤色の眼になる。キサントマチンとドロソプテリンの原料であるトリプトファンとグアニンは、体液から個眼を取り囲む色素細胞へ取り込まれる(図5)。

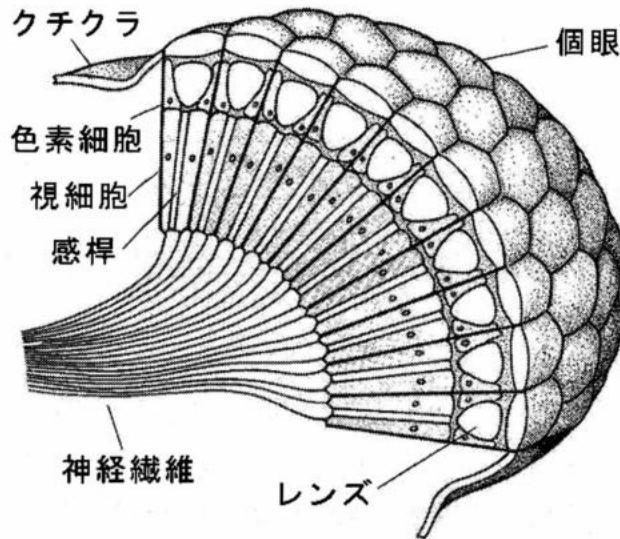


図5 複眼の構造

色素細胞に取り込まれたトリプトファンは、細胞質にある色素形成にかかわる酵素群によってキサントマチンになる。キサントマチンは色素細胞内にある色素顆粒を包む膜上にある運搬タンパク質によって、ATPのエネルギーを使って顆粒内に取り込まれる。この運搬タンパク質は、X(第1)染色体上の遺伝子 w がコードするタンパク質 white と、第3染色体上の遺伝子 st がコードするタンパク質 scarlet の二量体で、二つのタンパク質が会合してはじめて上に述べた機能を果たせるようになる。

一方のグアニンも、トリプトファンと同じように色素細胞内に取り込まれ、代謝経

路によって緋色のドロソプテリンになり、色素顆粒膜上の運搬タンパク質により ATP のエネルギーを使って顆粒内に取り込まれる。この運搬タンパク質は w がコードするタンパク質 white と第 2 染色体上の遺伝子 bw がコードするタンパク質 brown との二量体である。

この二つの色素によって深みのある赤い眼が発現するので、色素代謝の酵素系が正常に働いていても、 w 遺伝子が正常に働かないと、色素顆粒内にキサントマチンとドロソプテリンが取り込まれず白眼になる。また、 w が正常でも st あるいは bw の突然変異⁴⁾によって、それぞれ緋色眼、茶色眼が生じることが説明できる。突然変異体の名前と取り込む色素が逆で混乱してしまうが、よく考えると納得できる。いずれにしても、伴性遺伝で有名な白眼遺伝子は、色素の代謝には直接関係なく、色素顆粒に取り込むために働く ATP 分解能をもった運搬タンパク質に関わるのだと知って、あきら君はあらためて驚いてしまった。

ニューロンと神経膠細胞^この分化

チョウがひらひらと飛ぶのは、運動神経によって翅の付け根にある筋肉を動かしているからだ。教科書にはチョウの神経系のことは書かれていなかったが、神経組織を構成しているのは神経細胞(ニューロン)と神経膠細胞^こであり、刺激による興奮を伝える働きをするのはニューロンで、神経膠細胞はニューロンを物理的に支えているだけでなく栄養補給の面でも支える役割をしている。神経系の発生のことを思い出してみると、最初は神経管が現れて、それが神経系になるのだから、どこかでニューロンと神経膠細胞は分化したことになる。不思議に思って調べていたら、チョウの翅の目玉模様のところに出てきた Notch タンパク質が神経膠細胞の分化に関係していると書かれていた。

順番としてはまずニューロンが作られ、このニューロンが周りの神経幹細胞に働きかけて神経膠細胞に分化する能力を与えるのだそうだ。神経幹細胞というのは神経管⁵⁾から分化した細胞で、ニューロンにも神経膠細胞にも分化できる能力を持っている(メチル化によって鍵がかけられている状態にあると書かれていた)。分化を始めたニューロンは、膜タンパク質である Notch リガンドを作ってまわりの神経幹細胞の Notch タンパク質を活性化し、その結果、転写調節を誘導して鍵を外すことがわかっ

た。鍵が外れて神経膠細胞になるための遺伝子群が発現すれば、神経幹細胞は神経膠細胞に分化する。こうしてニューロンは、自分を支えてくれる神経膠細胞を周りに分化させるのだ。つまり、先にニューロンに分化した細胞は、周りの神経幹細胞に働きかけて、「もうニューロンは足りているから、あなたがたは神経膠細胞になりなさい」という指令を送る。神経組織にはニューロンの10倍の神経膠細胞があるのは、こうして数のバランスを取っているためだという。バイオテクノロジーの技術を用いて昆虫やマウスでNotchの働きを抑えると、神経細胞だらけになって発生の初期に死んでしまうそうだ。⁶⁾

神経伝達のメカニズム

ニューロンは興奮すると神経伝達物質を軸索末端から放出して、次のニューロンあるいは筋肉細胞に興奮を伝える。ニューロン本体で受けた刺激は、軸索を電氣的に伝導して軸索末端に達し、この電氣的变化のために軸索末端にあった神経伝達物質を含む小胞が、軸索末端膜と融合して中身の神経伝達物質をシナプス間隙に放出する。このような小胞内の物質を放出する過程のことをエクソサイトーシスと呼び、反対に細胞内に取り込む過程をエンドサイトーシスという。⁷⁾⁸⁾

ショウジョウバエの突然変異体の中に「シビレ」というのがあるそうだ。日本語に由来するが、今では国際的に通用する遺伝子の名前である。この遺伝子の突然変異によってショウジョウバエの温度感受性が変化してしまい、外気温19℃では正常な運動能力を示すが29℃に上げると数分で飛べなくなり、しびれたようになって試験管の底に落ちてしまう。この落ちたハエの翅を動かす筋肉の電子顕微鏡写真を調べてみると、神経筋接合部のシナプス小胞が無くなっていることが分かった。温度を元に戻してやると再び正常に動けるようになる。温度を上げたことによりシナプス小胞がなくなり、シナプスでの伝達がうまくいかなくなるために飛べなくなったことが分かる。⁹⁾

実はこの遺伝子は、すでに発見されていたダイナミンというタンパク質をコードしていることが分かった。シビレ遺伝子がコードするこのタンパク質は、エクソサイトーシスによってシナプス間隙に神経伝達物質を放出した後の小胞膜を、エンドサイトーシスによって軸索末端内に取り込んでいたのである。取り込まれた小胞には、軸

索末端で神経伝達物質が注入されて、再び利用できるようになる。シビレ突然変異では、このタンパク質のアミノ酸が一つ変わり、そのため温度が高くなる¹⁰⁾とタンパク質の構造が変わってエンドサイトーシスが阻害されてしまう。そのために、軸索末端で神経伝達物質が一時的に足りなくなるとシナプス伝達がうまくいかなくなり、ショウジョウバエが「シビレ」てしまうのだという。

シビレがコードするダイナミンはGTPを加水分解することにより、エンドサイトーシス小胞を細胞膜からくびりとして細胞内に取り込む。ショウジョウバエのシビレ突然変異体では、ダイナミンのある部分のアミノ酸の置換が occurring しており、このために温度を上げるとタンパク質の形が変わってGTPと結合できなくなり、小胞を細胞膜から切り離すことができなくなる。

チョウの眼と産卵

カラスアゲハがノウゼンカツラの花をめぐってと最初に書いたが、アゲハは人間のように色が見えているのだろうか。昆虫の眼は前に書いたように個眼がドーム状に集まった複眼である。一つの個眼に入力した光は、レンズを通して感桿へ伝えられ、周囲の視細胞を刺激し、その興奮は視神経を通して脳に送られる。視力のよしあしは網膜の視細胞がどのくらいの間隔で並んでいるか、すなわち隣接する2つの視細胞がなす角度(距離) θ によって決まる。ヒトでは θ の大きさは、およそ 0.017° で、これが視力1に相当する。複眼では隣り合う個眼同士の角度 θ が視力を決めることになり、アゲハの場合は θ の値はおよそ 0.8° で、視力に直すと約0.02という値になるそうだ。アゲハはだいたい目が悪く、ボケボケの像を見ていることになる。しかしながら、アゲハは紫外線と偏光を見ることができる上に視野が広いので、一概にアゲハは目が悪いとは言い切れない。

アゲハには複眼の他にお尻にも目があるという記事を見つけてあきら君はびっくりした。どういうことかということ、アゲハのメスのおなかを切って仰向けに固定して、そこにある神経の1本から神経の活動を測るための記録電極をつけて、たまたまお尻のところに懐中電灯で光を当てたところ活動電位が観測されたのだそうだ。この神経活動は、光の強さを強くするとそれに応じて神経は活発に活動する。

小さいスポット光を使って、チョウのお尻の一体どの部分が光を感じるかというこ

とを細かく調べたところ、オスでは肛門の上の交尾器の少し下の部分、メスでは産卵管の横とそのすぐ下のところに感光部があることがわかった。この部分を電子顕微鏡で調べていくと、細胞質内に膜がいっぱい詰まった構造¹¹⁾と軸索を持つ細胞が見つかった。この膜構造中には、光受容タンパク質が含まれていて、そこで光を活動電位に変換しているらしいということが分かったのだ。

それではチョウのお尻の目は、何のためにあるのだろうか。幼虫には見つからず蛹の時期の後半に出現することがわかったので、成虫で必要なものなのだろう。成虫に特異的な行動といえば次の世代を残すための繁殖行動が考えられる。アゲハは、オスとメスがお尻の先端をくっつけあって交尾する。オスは交尾のためにお尻の目を使い、真っ暗になったことで正しく交尾できたかを確認しているのだと考えられる。^{C)}

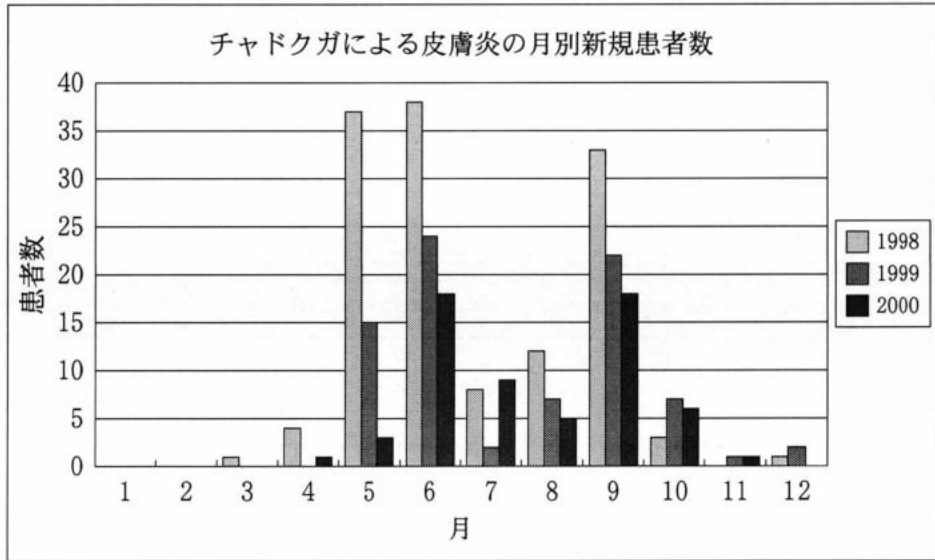
ぼんやりとながめたアゲハだったが、その発生、行動、生理を制御する機構には、何か共通した原理があるように感じて、あきら君はまた庭を眺めるのだった。

問題 1 上の文の下線 1)～11)に関する問いに答えよ。

- 1) 鱗翅目(チョウ目)が属する門と綱を書け。
- 2) このように動物が「食う—食われる」という関係にあるとき、両者をそれぞれ何というか。
- 3) 筋肉では、ATPのエネルギーはいったん別の高分子エネルギー化合物に貯蔵され、必要に応じてATPに戻されて使われるが、その化合物は何か、名称を書け。
- 4) X(第1)染色体上の w 遺伝子の変異で白眼になるが、これ以外にも白眼になる可能性がある。それはどんな場合か、書け。
- 5) 神経管の起源となる胚葉の名を書け。
- 6) クローンウシやクローンヒツジのようなクローン動物を作る手順を書け。
- 7) ニューロンからの刺激を受け取った後に起こる筋収縮の過程を、アクチンフィラメント、ミオシンフィラメント、カルシウムイオン、ATPの語を用いて説明せよ。
- 8) このような電気的変化を何と呼ぶか、書け。
- 9) ヒトの神経筋接合部にあるシナプス小胞に含まれる神経伝達物質は何か。
- 10) 脳下垂体後葉にはペプチドホルモンであるバソプレッシンを含む小胞が存在する。このバソプレッシンの合成・分泌は、本文中で述べられている神経筋接合部に存在する神経伝達物質の合成・分泌と、どの点が同じでどの点が異なるか、比較して述べよ。
- 11) 細胞内に膜がいっぱい詰まった構造をしている理由は何か、書け。

問題 2 下線Aに関して次の問いに答えよ。

- 1) 次のグラフは、ある病院におけるチャドクガ皮膚炎の患者の月間推移を示している。5、6月と9月に患者が多くなるのは、幼虫の発生がこの時期に多いためである。どうしてこの時期に幼虫の発生が多いのか、その理由を述べよ。



- 2) チャドクガに触れた後、しばらくしてから「かゆくなる人」と「ならない人」がいる。その理由を書け。
- 3) 群れをつくっていると捕食されにくいと考えられるが、これ以外にチャドクガの幼虫が群れを作る利点は何か書け。

問題 3 下線Bに関して次の問いに答えよ。

Notch タンパク質が点状に発現すると、どのようなことがおこって目玉模様がつくられると考えられるか、述べよ。

問題 4 下線Cに関して次の問いに答えよ。

雄チョウの交尾行動におけるお尻の光受容器の役割を確かめるためには、どのような実験をしたらよいだろうか、具体的な実験計画を立てよ。

問題 5 野生型ショウジョウバエの個眼の色素細胞が赤くなるのはどのような遺伝子の転写とタンパク質の発現の結果か、解答欄の色素細胞の図の中にその様子をわかりやすく書き入れよ。