

令和 3 年度

理 科

問 題 冊 子

生 物

第1問 赤血球と貧血に関する次の文章を読み、以下の間に答えよ。

赤血球は、白血球などとともに、成人においては（ア）に存在する造血幹細胞から増殖と分化を経てつくられる。細胞分化の過程においてリボソームで産生されるグロビンと、ミトコンドリアなどで産生される（イ）が結合して大量のヘモグロビンがつけられた後、最終的に(a)細胞は、リボソームやミトコンドリアなどを失って、ヘモグロビンを運ぶ袋と化す。図1Aに示すように、ヘモグロビンと酸素との結合や解離は酸素濃度の他に二酸化炭素濃度の影響を受ける。したがって、(b)ヘモグロビンは（ウ）の過程で多くの酸素分子と結合し、体循環の過程では、結合した酸素を効率よく放出することができる。

酸素の運搬が不十分になると貧血になる。貧血の多くは、栄養素の不足などにより正常な赤血球が産生されないことを原因とする。この場合、鉄分やビタミンなど、足りない栄養素の補充により治療される。なお腎障害時には、赤血球の成熟を促すホルモンであるエリスロポエチンの、腎臓での産生が低下して貧血になる（腎性貧血）。エリスロポエチンは体内で酸素が不足した際に増産されるタンパク質であり、(c)HIF というタンパク質がエリスロポエチン遺伝子に結合すると転写が促進される。腎性貧血の治療法としては、(d)エリスロポエチンを補充する他に、体内で人為的にエリスロポエチンの産生を誘発する方法が注目されている。

一方で、赤血球が破壊されることを原因とする貧血は、溶血性貧血と総称される。よく知られる例に鎌状赤血球症がある。この疾患では、(e)グロビンβ鎖（βグロビン）遺伝子上の塩基配列の1箇所がAからTに変異し、これに伴って対応するグルタミン酸がバリンになった変異βグロビンならびに変異ヘモグロビンが産生される。変異ヘモグロビンは水に溶けにくく、赤血球の形を鎌状に

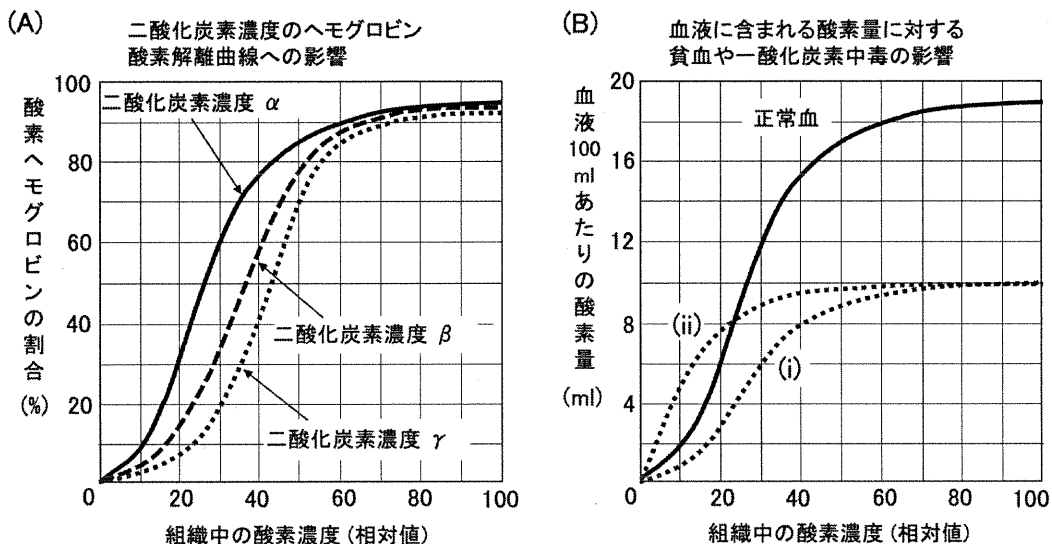


図1

変化させる。そして鎌状の赤血球は壊れやすいため、溶血性貧血となる。この異常の有無は、赤血球の形態観察やヘモグロビンタンパク質の電気泳動で判別できる。また、(f) PCR と制限酵素反応を組み合わせて DNA を検査することでも判別できる。

問1 (ア)～(ウ)にあてはまる適当な語句を答えよ。

問2 下線部(a)について、次の問に答えよ。

- (1) この過程の一部には、オートファジー（自食作用）が関わっている。オートファジーではまず細胞内の物質が生体膜によって包まれて小胞が形成され、この小胞が、ある細胞小器官と融合することにより内容物が分解される。この細胞小器官は何か答えよ。
- (2) この過程の前後において、一定量のグルコースを呼吸基質とした ATP 産生の効率はどのように変化するか、以下の 4 つから最も近いものを選んで番号で答えるとともに、その理由を述べよ。

- ① 10 分の 1 以下になる ② 半減する ③ 2 倍になる ④ 10 倍以上になる

問3 下線部(b)について、次の問に答えよ。

- (1) 図 1 において、酸素濃度が 100 で二酸化炭素濃度が α である組織 X と、酸素濃度が 30 で二酸化炭素濃度が γ である組織 Y の間を正常血が循環している時、
(ア) 血液 100 ml あたり何 ml の酸素が
(イ) どちらの組織からどちらの組織まで運ばれるか。
図 1A と図 1B の正常血の値を参考に、(ア)については整数値で答えよ。ただし図 1B のグラフは二酸化炭素濃度が図 1A の α の条件下で測定した結果を示すものとし、血液中の酸素は全てヘモグロビンと結合しているものとする。
- (2) 図 1A のグラフにある $\alpha \sim \gamma$ の中で二酸化炭素濃度を示す値として最も大きいものはどれか答えよ。
- (3) 図 1B には、実線で正常血での値を示すとともに、腎性貧血の状態にある血液での値を点線(i)で、一酸化炭素中毒の状態にある血液での値を点線(ii)で示している。一酸化炭素はヘモグロビンと結合し、かつ、ヘモグロビンと酸素の結合様式を大きく変化させる。ここで組織中の酸素濃度が 100 から 30 に低下する際に血液から放出される酸素の量について、(ア) 腎

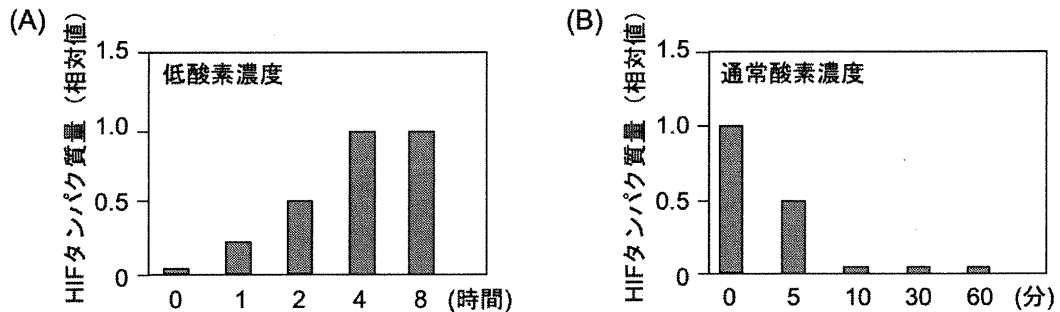
性貧血の状態にある血液と、(イ)一酸化炭素中毒の状態にある血液とでは、各々正常血における放出量の何パーセントになるかを図 1B のグラフから求めよ。小数点以下第一位を四捨五入して答えること。ただし、ここでは二酸化炭素濃度については考慮しないこととする。

問 4 下線部(c)について、以下の問に答えよ。

酸素濃度の違いが、ある細胞に含まれる HIF タンパク質の量に与える影響を調べるため、以下の実験 1、実験 2 を行った。その結果 (図 2) から導き出される仮説として適当なものを①～④の中から 2 つ選んで番号で答えよ。

[実験 1] 通常酸素濃度 (21%) の環境で 24 時間以上培養していた細胞を、低酸素濃度 (1%) の環境に移して 0, 1, 2, 4, 8 時間培養した後、一定量の細胞に含まれる HIF タンパク質の量を測定した (図 2A)。

[実験 2] 低酸素濃度 (1%) の環境で 4 時間培養した細胞を、通常酸素濃度 (21%) の条件で 0, 5, 10, 30, 60 分間培養した後、一定量の細胞に含まれる HIF タンパク質の量を測定した (図 2B)。



注：HIF タンパク質量は、低酸素濃度下で 4 時間培養した細胞内での量を 1.0 とした時の相対値で表している。

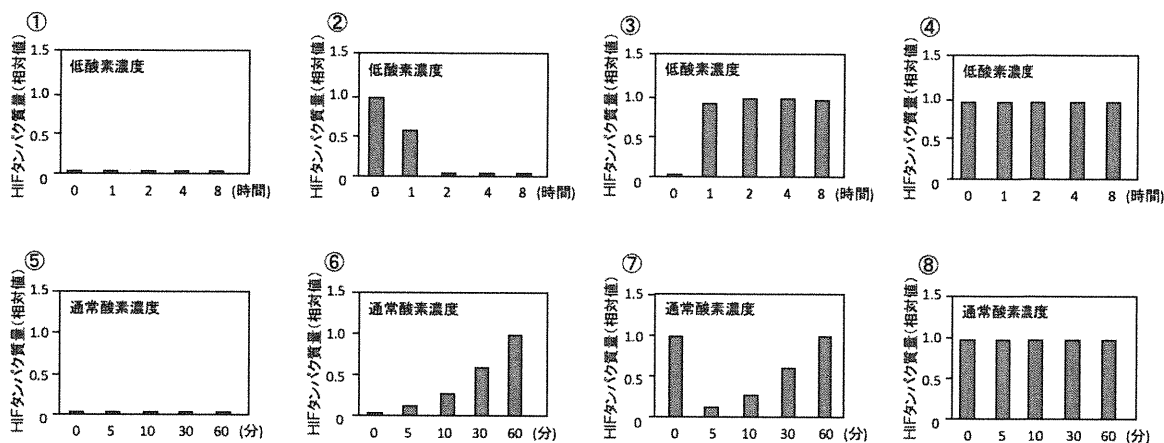
図 2

- ① この細胞における HIF の合成速度は通常酸素濃度より低酸素濃度の環境下で高くなる。
- ② この細胞における HIF の合成速度は低酸素濃度より通常酸素濃度の環境下で高くなる。
- ③ この細胞における HIF の分解速度は通常酸素濃度より低酸素濃度の環境下で高くなる。
- ④ この細胞における HIF の分解速度は低酸素濃度より通常酸素濃度の環境下で高くなる。

問 5 下線部(d)に関する次の文章を読み、以下の問に答えよ。

体内で人為的にエリスロポエチンの産生を誘発することができる医薬品として有望な有機化合物 (ここでは化合物 P と呼ぶ) が見つかっている。化合物 P は、ある酵素 (ここでは酵素 E と呼ぶ) の活性を阻害するもので、この酵素 E は HIF タンパク質の分解を促進する活性をもつ。また、酵素 E の HIF タンパク質の分解を促進する効率は、酸素濃度により変化することが明らかになっている。

- (1) ここで問4の実験1、実験2を行う際に、各グラフにある時間ゼロの時点よりも4時間前に、あらかじめ細胞培養液にこの化合物Pを添加しておいたところ、それぞれの実験結果に大きな変化が見られた。この結果を示すグラフとして適当と判断されるものを、(ア)実験1については①～④の中から1つ選び、(イ)実験2については⑤～⑧の中から1つ選んで番号で答えるとともに、そのような結果になると考える理由を述べよ。



- (2) 以上の結果および問4の実験1、実験2の結果に基づいて、低酸素状態に反応して体内で赤血球が増産されるメカニズムについて説明せよ。
- (3) 化合物Pはエリスロポエチンと異なりタンパク質ではないため、痛みを伴う注射薬でなく、内服薬として使用できる可能性がある。このことをふまえ、なぜエリスロポエチンは内服薬として使用できないか答えよ。

問6 下線部(e)について、次の問に答えよ。

- (1) 鎌状赤血球症は明らかに生存上不利をもたらすと考えられるのであるが、この変異をヘテロ接合でもつヒトはホモ接合でもつヒトと比べて軽症で、アフリカなどの特定地域に多いことが知られている。こういった地域はマラリアという感染症が多発している地域でもあることから、この変異をもつヒトはマラリアで死亡する確率が下がるためこういった地域に多いとする説がある。この説と最も関連の深い語句を以下より選んで番号で答えよ。
- ① 遺伝的浮動 ② 自然選択 ③ 中立説 ④ 地理的隔離 ⑤ 突然変異
- (2) 多くのヒトのゲノムの解析が進むにつれ、ゲノムの中には1塩基単位での塩基配列の多様性が、病気と関連しないものも含めて多く存在することが明らかになってきた。このような多様性のことを何と呼ぶか答えよ。

問7 下線部(f)について、この検査方法に関する次の文章を読み、以下の問に答えよ。

図3Aのように、ヒトβグロビン遺伝子は3個のエキソンを含む(図中の灰色のボックス)。またCTNAGという塩基配列(NはA, T, C, Gのどれでも良い)を認識して切断する制限酵素Dde Iは、この遺伝子内に10箇所の切断部位をもつ(図中の矢印)。

鎌状赤血球症患者では図3Bのように、この遺伝子の第1エキソンに1塩基の変異がある(図中の太字)。この変異があると、Dde Iが認識するはずの塩基配列を認識できず、Dde Iはこの部位を切断できなくなる。これにより、手間をかけて塩基配列を明らかにすることなく、簡便迅速に変異の有無を検出できる。具体的な方法は以下の通りである。

- まず採取した血液から(g)赤血球以外の細胞を集め、これらからDNAを抽出する。
 - このDNAを鋳型とし、(h)一对のプライマーを用いてPCRを行うことで、解析に必要なDNA断片を増幅する。
 - 次に、増幅したDNA断片をDde Iで切断処理した後、電気泳動により分析する。
- (1) 図3Cは、3人分の分析結果(I~III)を示したものである。I~IIIはそれぞれ健常者、保因者、患者のいずれのDNAを分析した結果に該当するか答えよ。
- (2) 下線部(g)について、赤血球以外の細胞からDNAを抽出する理由を一文で答えよ。
- (3) 下線部(h)について、用いたプライマーはβグロビン遺伝子上のどの領域に相補的に結合するものか、図3Cの結果をふまえて図3Aの①~⑧の中から選んで答えよ。

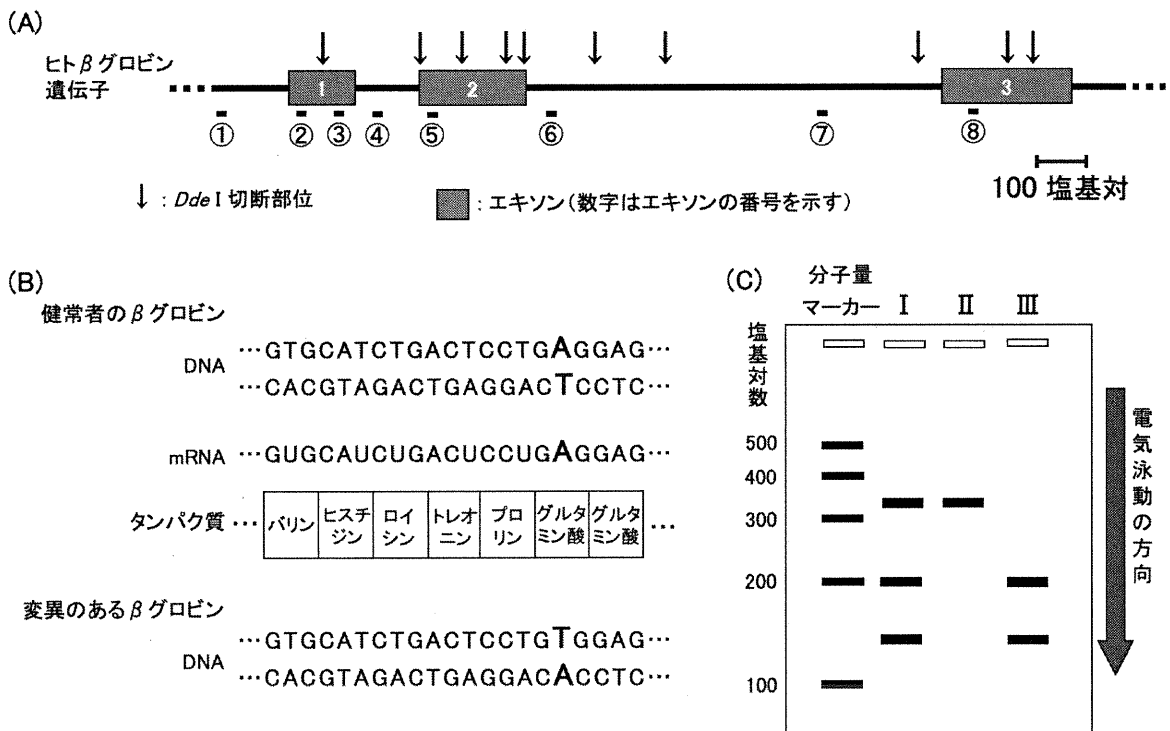


図3

第2問 四肢の形成に関する次の文章を読み、以下の間に答えよ。

脊椎動物の四肢は、発生初期の体側に二対形成される肢芽から生じる。ニワトリ胚の四肢形成過程では、予定肢芽形成位置に存在する側板中胚葉と、それを覆う外胚葉との相互作用により肢芽が形成され、基部から先端部へと伸長しながら内部に四肢の骨が形成される（図4）。肢芽先端部の外胚葉を特に外胚葉性頂堤（apical ectodermal ridge, AER）と呼び、この領域から生じる様々なシグナル分子が側板中胚葉に働きかけることで、側板中胚葉に含まれる一部の細胞（間充織細胞と呼ばれる）が軟骨細胞へと分化する。このような、基部-先端部軸のパターン形成に加え、四肢の前後軸パターンについては、肢芽後部に存在する極性化活性帯（zone of polarizing activity, ZPA）と呼ばれる領域が重要な働きを担っている。すなわち、ZPA から生じるシグナル分子が肢芽内の間充織細胞に働きかけることで四肢軟骨の前後軸パターンが形成され、手部では指の種類や位置が決定される（図4、図5）。このようにして、産卵後10日程度でおおよその四肢骨パターンが完成する。哺乳動物の指は5本存在するのが基本であるが、ニワトリの場合、前肢には3本、後肢には4本の指が存在しており、発生学的な知見から、前肢では第1指と第5指が、後肢では第5指が退化したことでこのような形態になったと考えられている（図5）。

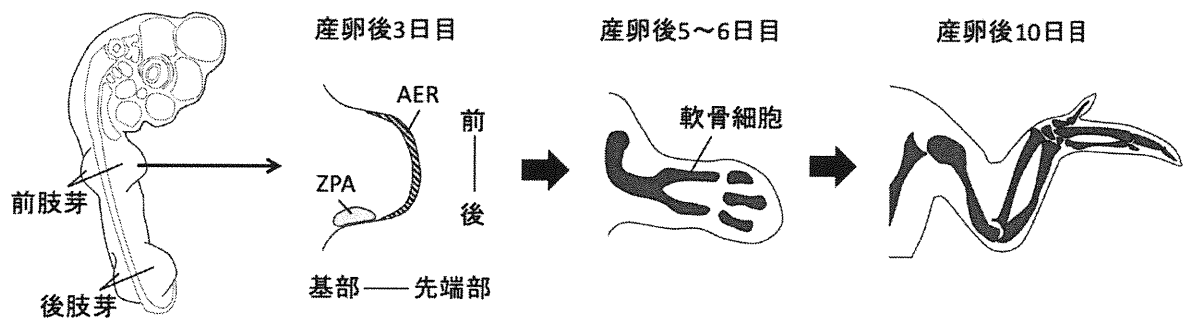


図4

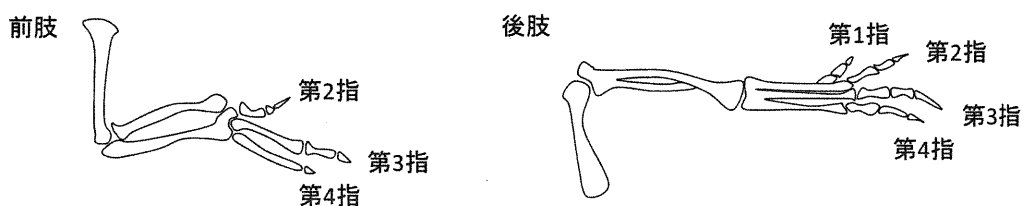


図5

問1 脊椎動物の初期胚において、外胚葉、中胚葉、内胚葉の3つの胚葉が形成される。以下に示した(ア)～(カ)の器官は、どの胚葉に由来すると考えられるか。適当な胚葉名を、①外胚葉、②中胚葉、③内胚葉から1つずつ選び番号で答えよ。

- | | | |
|------------|--------|-----------|
| (ア) 骨格筋 | (イ) 腎臓 | (ウ) 脳 |
| (エ) 消化管の上皮 | (オ) 心臓 | (カ) 皮膚の表皮 |

問2 下線部について、(1)胚の中のある領域が周囲の細胞に働きかけて、特定の機能を持つ細胞へと分化させる働きを何と呼ぶか、また、(2)そのような機能をもつAERのような領域のことを一般に何と呼ぶか答えよ。

問3 ニワトリ前肢骨の基部-先端部軸パターン形成におけるAERと間充織細胞の役割を明らかにするため、次のような2つの実験(実験1, 2)を行った。これらの実験結果から推測されることとして、適切でないものを次ページの①～⑤から全て選び、番号で答えよ。

[実験1] 産卵後3日目の胚の前肢芽からAERを取り除き、その後の前肢骨の形成を観察した。すると、10日目胚では上腕骨のみが形成された(図6A)。次に、3.5日目胚を用いて同様の実験を行うと、上腕骨に加えて前腕骨も形成されるようになり(図6B)、4.5日目胚を用いると、さらに手骨も形成された(図6C)。

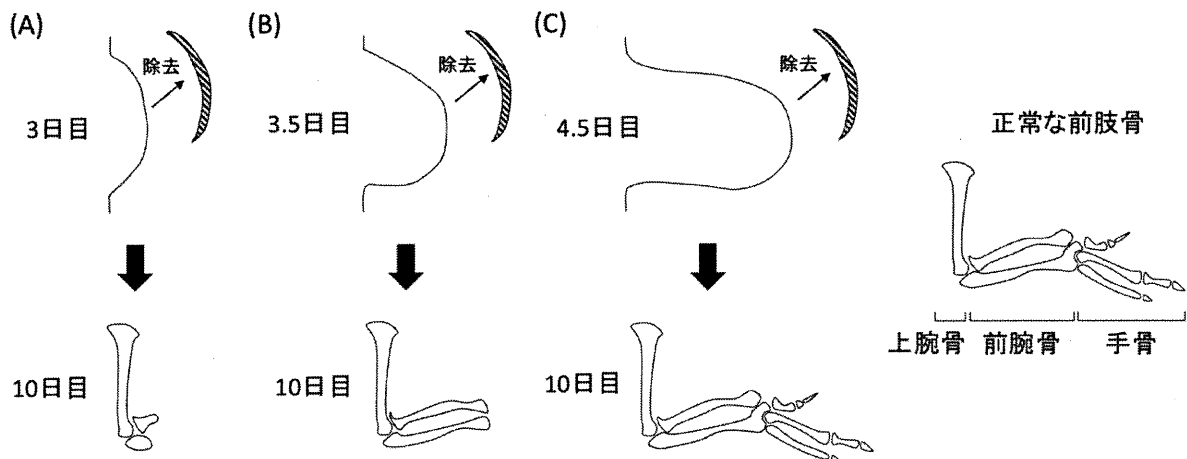


図6

[実験 2] 3 日目胚の前肢芽から AER を取り出し、同じく 3 日目胚の前肢芽から取り出した間充織細胞とともに他の 3.5 日目胚の体側に移植したところ、11 日目胚まで成長した時点において完全な前肢骨が形成された (図 7A)。また、4.5 日目胚の肢芽から AER を取り出し、3 日目胚の前肢芽から取り出した間充織細胞とともに移植したところ、やはり完全な前肢骨が形成された (図 7A)。一方、3 日目胚の前肢芽から取り出した AER を、4.5 日目胚の前肢芽の先端部に含まれる間充織細胞とともに移植すると、手骨のみが形成された (図 7B)。

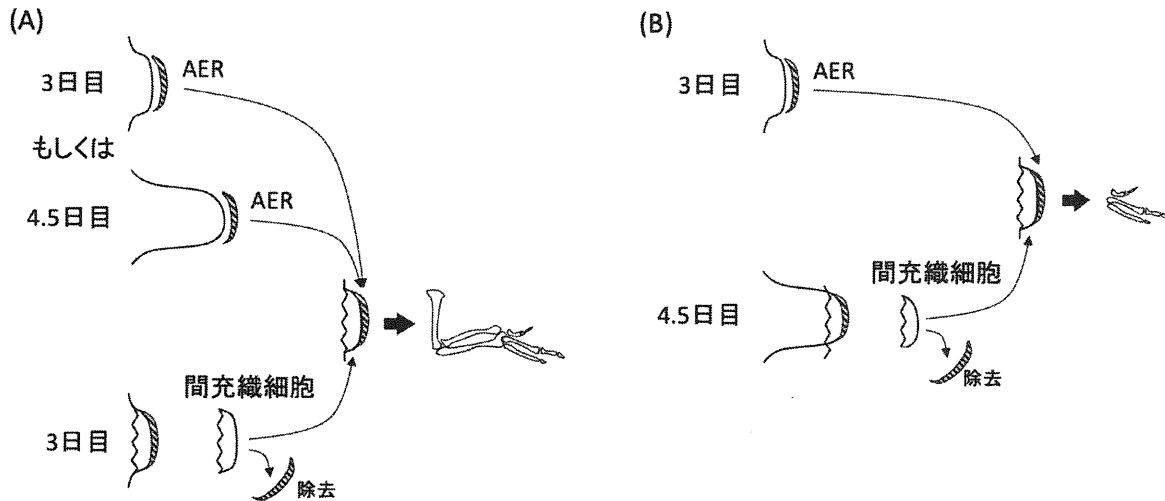


図 7

- ① 肢芽の伸長に伴って、前肢骨のパターン形成は基部から先端部へ向かって進行する。
- ② 4.5 日目胚の前肢芽先端部の間充織細胞は、手骨への発生運命が決定されている。
- ③ 前肢芽内で発生運命が決定された間充織細胞は、AER が無くても定められた前肢骨へと分化する。
- ④ AER からのシグナルを長期間受けとっていた間充織細胞ほど、基部側の骨へと分化する。
- ⑤ AER がどの発生段階の胚にあるかによって、間充織細胞から形成される前肢骨の種類が決定される。

問 4 前肢骨パターン形成のメカニズムをより詳細に理解するため、さらに次のような実験を行った(実験3)。この実験結果をふまえて、4.5日目胚の前肢芽から先端部を取り除き、そこへ3日目胚の前肢芽全体を移植した場合は、10日目胚まで成長した時点においてどのような前肢骨パターンが形成されていると考えられるか。①～⑥から、適当なものを1つ選び番号で答えるとともに、そのような結果となる理由を実験1, 2の結果もふまえて述べよ。

[実験3] 3日目胚の前肢芽から先端部を取り除き、そこへ4.5日目胚の前肢芽の先端部を移植すると、10日目胚では上腕骨の先に移植片由来の手骨が形成されていた(図8)。

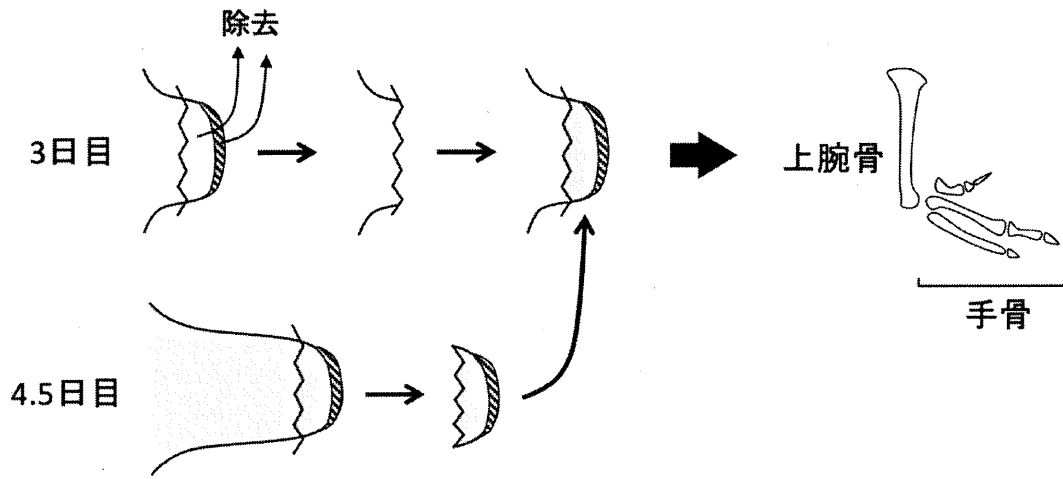
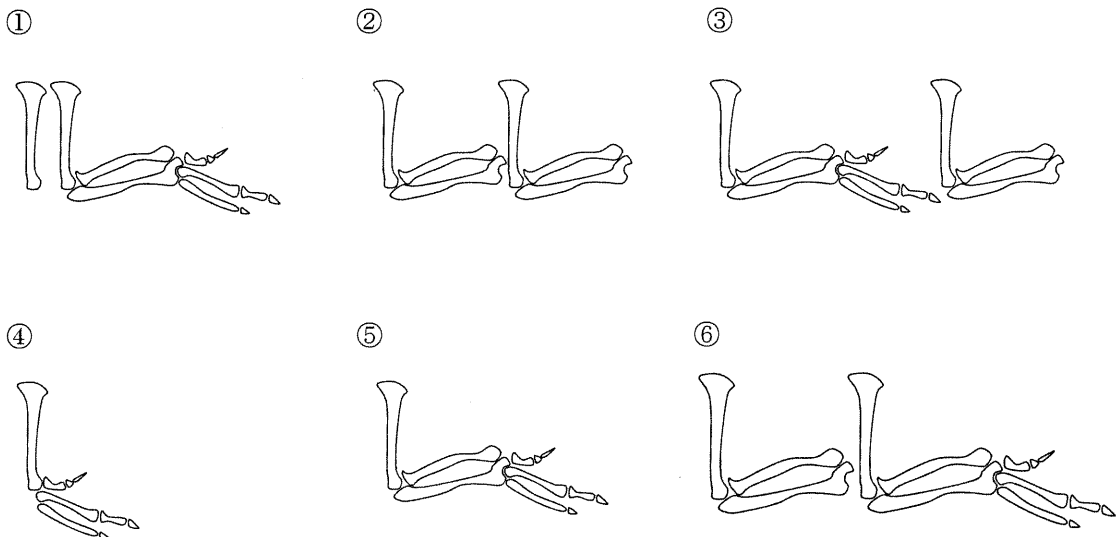


図8



問5 ニワトリ前肢骨の前後軸パターン形成における ZPA の役割を明らかにするため、次のような2つの実験（実験4, 5）を行った。これらの実験結果をふまえて、以下の間に答えよ。

[実験4] 3.5日目胚の前肢芽から ZPA 領域を取り出し、他の3.5日目胚の前肢芽前部に移植したところ、10日目胚では正常な前肢に加えて第2指の前方に鏡対称な過剰指が形成されていた（図9）。

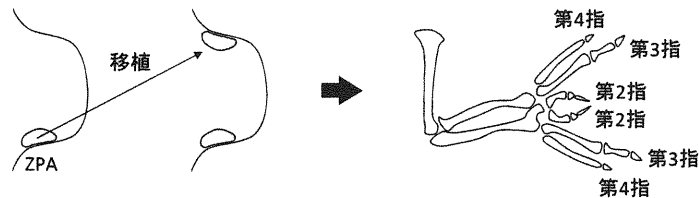


図9

[実験5] ZPA 領域の細胞が合成し、四肢骨の前後軸パターンを形成するシグナル分子として SHH というタンパク質が同定された。3.5日目胚の前肢芽前部に SHH を染み込ませたビーズを埋め込むと、ZPA の移植実験と同様に過剰指が形成される。このとき、様々な濃度の SHH を用いて同様の実験を行うと、10日目胚で形成される過剰指の種類が SHH 濃度依存的に変化した（図10）。

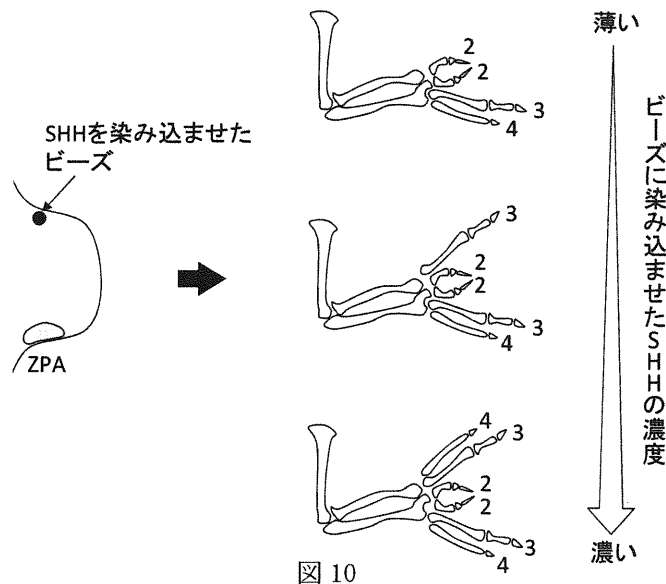


図10

- (1) SHH の濃度と形成される指骨の指番号との間には、どのような関係が存在すると考えられるか答えよ。
- (2) 人の手を加えていない前肢骨の形成過程において、ZPA はどのような機構で指骨の前後軸パターンを形成すると考えられるか答えよ。

問 6 肢芽内に存在する一部の細胞を色素で標識し、数日後にその細胞がどこへ移動したのかを追跡することで、形成される四肢骨がどの部位に位置する細胞に由来するのを知ることができる。そこで、次のような実験を行った(実験 6)。この実験結果をふまえて、次ページの間に答えよ。

[実験 6] 3.5 日目胚の前肢芽において ZPA 内部の細胞を標識すると、これらの細胞は 5~6 日目胚の時点において第 4 指のさらに後部へと移動しており、どの指の軟骨組織にも含まれていなかった(図 11A)。一方、ZPA のすぐ前方領域の細胞を標識すると、5~6 日目胚の時点において第 4 指の軟骨組織内で標識細胞が観察された(図 11B)。次に、後肢芽 ZPA 内部の細胞を色素で標識すると、5~6 日目胚の時点において第 4 指の軟骨組織内で標識細胞が観察され(図 11C)、ZPA の前方領域の細胞を標識すると、第 3 指の軟骨組織内で標識細胞が観察された(図 11D)。

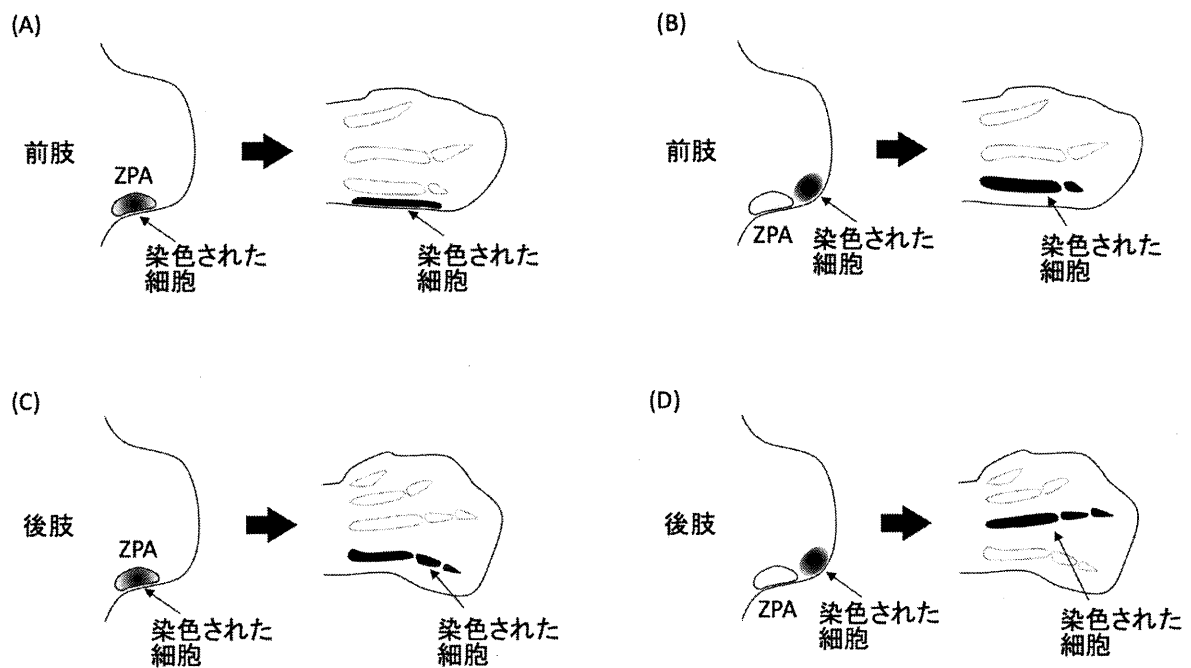


図 11

(1) 実験6の結果から推測されることとして、適当なものを①～⑧の中から全て選び、番号で答えよ。

- ① 前肢の ZPA に含まれる細胞は、それ自身が第4指の軟骨細胞へと分化する。
- ② 前肢の ZPA に含まれる細胞は、ZPA のすぐ前方に位置する間充織細胞に働きかけることで、その細胞を第4指の軟骨細胞へと分化させる。
- ③ 前肢の ZPA に含まれる細胞は、どの指の軟骨細胞にも分化しない。
- ④ 後肢の ZPA に含まれる細胞は、それ自身が第4指の軟骨細胞へと分化する。
- ⑤ 後肢の ZPA に含まれる細胞は、それ自身が第3指の軟骨細胞へと分化する。
- ⑥ 後肢の ZPA に含まれる細胞は、ZPA のすぐ前方に位置する間充織細胞に働きかけることで、その細胞を第3指の軟骨細胞へと分化させる。
- ⑦ 後肢の ZPA に含まれる細胞は、ZPA のすぐ前方に位置する間充織細胞に働きかけることで、その細胞を第4指の軟骨細胞へと分化させる。
- ⑧ 後肢の ZPA に含まれる細胞は、どの指の軟骨細胞にも分化しない。

(2) マウスには第1指から第5指までの5本の指が存在する。そこで、実験6と同様な実験をマウスの胎児を用いて行ったところ、前肢、後肢にかかわらず ZPA 内部に位置する細胞から第4指と第5指が形成され、ZPA 外部の細胞からは第1, 2, 3指が形成されることが明らかになった。それでは、マウスの第1, 2, 3指と同様な様式で形成されるのは、ニワトリの前肢(ア)および後肢(イ)では第何指に相当すると考えられるか答えよ。

(3) 陸上で生活する脊椎動物のほとんどは5本の指を持つが、ニワトリでは進化の過程でその内のいくつかは退化し失われている。これまでの発生学的な知見では、ニワトリの前肢では第1指と第5指が失われたとされてきたが、実験6およびマウスを用いた実験の結果は、この説とは一部矛盾するものとなった。それでは、これらの実験結果はニワトリ前肢の第何指が退化して現在の形態になったことを示唆していると考えられるか。マウスの指番号と対応させながら、理由とともに答えよ。

第3問 光合成に関する次の文章を読み、以下の間に答えよ。

炭酸同化のうち光のエネルギーを利用するものは光合成と呼ばれ、^(a)無機物の酸化により放出されたエネルギーを利用するものは（ア）と呼ばれる。光合成は地球で行われている炭酸同化の大部分を占める重要な反応系であるとともに、^(b)生物が呼吸により消費する酸素を供給する役目も担っている。現在地球上の大気の約21%を酸素が占めているが、約46億年前に地球が誕生した当初の大気中に酸素はほとんど存在していなかったと考えられている。その後、約27億年前になると^(c)光合成を行う生物が繁栄するようになり、これによりまず海中に、続いて大気中に酸素が供給されることとなった。植物細胞において光合成は葉緑体と呼ばれる細胞小器官で行われ、葉緑体の中にある（イ）の膜上には光化学系Ⅰと光化学系Ⅱと呼ばれる2種類の反応系が存在する。いずれの反応系においてもクロロフィルが光エネルギーを受けて活性化し、続く電子伝達に伴い^(d)（ウ）が（イ）内へ輸送される他、^(e)NADPHが産生される。ATPの産生は、（イ）の膜を貫通する形で存在するATP合成酵素の中を、（ウ）が内側から外側へ、濃度勾配を解消する方向に流れることにより合成される。^(f)炭酸同化の反応はこのNADPHとATPを利用して葉緑体の（エ）と呼ばれる部位で行われる。一方、過剰に強い光の下では、炭酸同化で消費されるNADPHやATPの合成に必要な程度を超えて光化学系が活性化され、活性酸素の生成などによる光合成機能の障害（光阻害）が引き起こされる。^(g)こういった事態を回避するため、葉緑体においては過剰な光エネルギーを可能な限り熱として逃がしていることが知られている。

問1 文中の空欄（ア）～（エ）に入る適切な語句を答えよ。

問2 下線部(a)に関する次の間に答えよ。

(1) このような炭酸同化を行う生物の例として適当なものを全て選んで番号で答えよ。

- ① 亜硝酸菌 ② 硝酸菌 ③ 紅色硫黄細菌 ④ 緑色硫黄細菌
- ⑤ シアノバクテリア

(2) このような炭酸同化に共通の事項として適当なものを全て選んで番号で答えよ。

- ① クロロフィルを利用する
- ② バクテリオクロロフィルを利用する
- ③ 硫化水素を利用する
- ④ 二酸化炭素を利用する
- ⑤ 酸素を産生する

問3 下線部(b)に関連する以下の記述について、正しいものには○を記せ。また、間違っている場合は×を記すとともに、下線を付した部分を正しく書き換えよ。

- ① 光合成を行う植物も自身の呼吸による ATP 産生を必要とする。
- ② 呼吸基質としてグルコースを利用する場合、吸収された酸素は二酸化炭素として放出される。
- ③ 従属栄養生物は呼吸のような異化を行い、同化も行う。

問4 下線部(c)で言及されている生物に関する以下の問に答えよ。

(1) 現在生息している生物でこれに該当するものを、問2(1)の選択肢より1つ選んで番号で答えよ。

(2) 問4(1)で答えた生物に関する記述として適当なものを全て選んで番号で答えよ。

- ① バクテリオクロフィルが光化学系を形成する。
- ② カルビン・ベンソン回路により二酸化炭素を固定する。
- ③ 細胞壁をもつ。
- ④ リボソームをもつ。
- ⑤ 葉緑体をもつ。
- ⑥ ミトコンドリアをもつ。

問5 下線部(d)および(e)は、それぞれ光化学系Ⅰ、光化学系Ⅱのどちらから放出された電子により進められるか。正しいものを1つ選んで番号で答えよ。

- ① (d)は光化学系Ⅰ、(e)は光化学系Ⅱから放出された電子により進められる。
- ② (d)は光化学系Ⅱ、(e)は光化学系Ⅰから放出された電子により進められる。
- ③ (d)、(e)ともに光化学系Ⅰから放出された電子により進められる。
- ④ (d)、(e)ともに光化学系Ⅱから放出された電子により進められる。

問6 下線部(f)に関する以下の実験に関する各問に答えよ。

ある草本植物の葉一枚ずつについて、光の強度と二酸化炭素の吸収・放出量との関係を、図12に示すような実験装置を用いて測定した。図中のグラフは新しい葉(A)と古い葉(B)についての測定結果を示すもので、光-光合成曲線と呼ばれる。

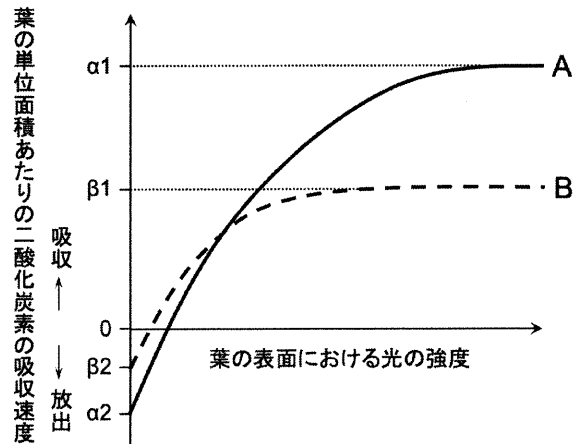
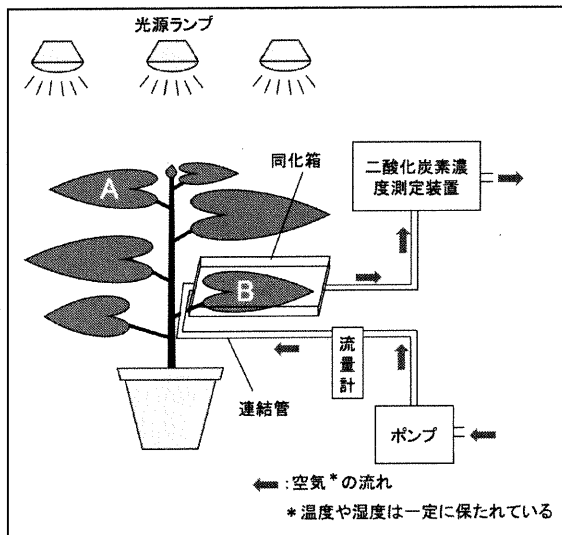


図 12

(1) 図 12 のグラフにおける α_1 と β_1 の値の差が意味するところを以下より 1 つ選んで番号で答えとともに、このような差が生じた理由について考察せよ。ただし、実験に使用されるまでの間、それぞれの葉に均等に光が当たる状態で栽培されていたものとする。

- ① 同量の二酸化炭素を吸収するために A の葉は B の葉よりも強い光を必要とする。
- ② 十分に強い光の下では A の葉は B の葉よりも多くの二酸化炭素を吸収する。
- ③ A の葉は B の葉よりも強い光において二酸化炭素吸収速度が最大になる。
- ④ ある強度より弱い光の下では B の葉は A の葉よりも多くの二酸化炭素を吸収する。

(2) 図 12 のグラフにおける α_2 と β_2 の値の差が意味するところを以下より 1 つ選んで番号で答えとともに、このような差が生じた理由について考察せよ。

- ① 光が無い暗所では A の葉は B の葉よりも多くの二酸化炭素を放出する。
- ② 光が無い暗所では B の葉は A の葉よりも多くの二酸化炭素を吸収する。
- ③ 光の強さに関係無く A の葉は B の葉よりも多くの二酸化炭素を放出する。
- ④ 光の強さに関係無く B の葉は A の葉よりも多くの二酸化炭素を吸収する。

(3) 図 12 のグラフの A と B のような差異は、異なる種類の植物を比較した際にも見られることがある。植生の遷移の過程において多くの場合陽樹ではなく陰樹からなる林が極相林となる理由を、地表に届く光の強さに着目し、図 12 のグラフと関連付けて説明せよ。説明には A, B の記号を用いること。

問7 下線部(g)について、光呼吸と呼ばれる代謝経路も過剰な光エネルギーの処理に役立っていると考えられている。この光呼吸に関する次の文章を読み、以下の問に答えよ。

リブローズビスリン酸カルボキシラーゼ/オキシゲナーゼ（ルビスコ）は、カルボキシラーゼとしての活性によりカルビン・ベンソン回路において二酸化炭素の固定に働くのみならず、その名にある通りオキシゲナーゼとしても働き、二酸化炭素の代わりに酸素をリブローズビスリン酸に結合させてカルビン・ベンソン回路から外れた別の化合物（ホスホグリコール酸）を生成する反応も触媒する（図 13）。この化合物が葉緑体以外の細胞小器官で代謝される過程で二酸化炭素が産生される。光呼吸と呼ばれるこの代謝経路は、酸素を消費して二酸化炭素を産生する点において光やルビスコを必要としない一般的な呼吸（単に呼吸と呼ぶ）と似ているが、還元力やエネルギーを生むことはなく、むしろ消費することから、一見無駄な代謝経路といえるものである。この光呼吸発見のきっかけとなった現象の1つに、光照射を止めた直後に見られる一時的な二酸化炭素放出量の増加というものがある。下のグラフはその例を示すもので、ある植物の葉1枚を図12にあるような実験装置にセットし、光照射の停止に伴う二酸化炭素濃度の変化を時間毎に記録した結果である。この植物における二酸化炭素の固定は全てルビスコによるもので、これは光照射を止めるのとほぼ同時に停止する。これに対し、光呼吸による二酸化炭素の放出は光を必要としない複雑な代謝経路を経るため、光照射を止めた後も中間産物が代謝し尽くされるまで少しの間持続することから、このような現象が観察されると考えられている。

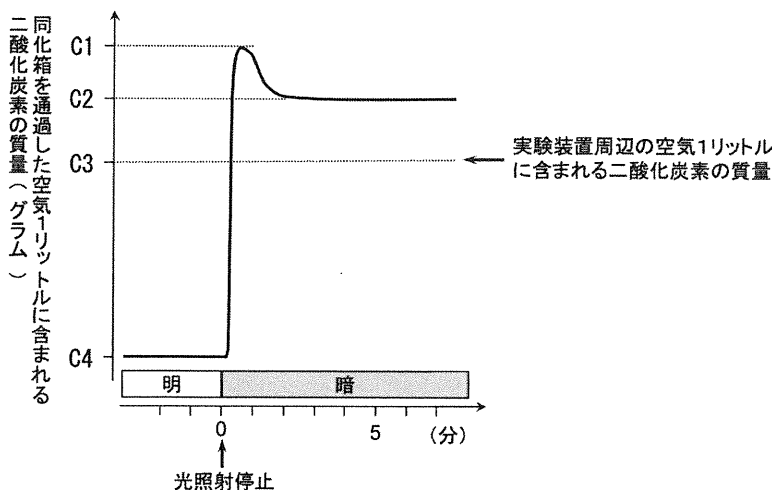
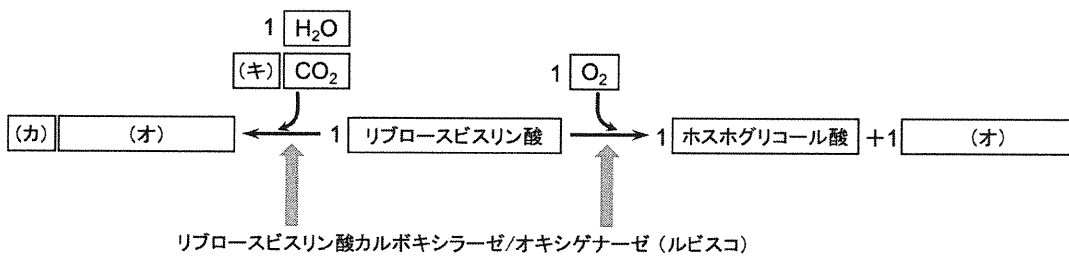


図 13

- (1) 図 13 の (オ) に入る化合物名と、(カ) (キ) に入る係数 (分子の数を示す数字) を答えよ。
- (2) 図 13 の実験において、この葉 1 枚が光呼吸により産生した二酸化炭素の量は 1 分間あたり何グラムかをグラフより見積ろうとする場合、どのような計算式を用いるのが適切か。グラフ縦軸の値 C1~C4 を用いて示せ。ただし空気の流速は毎分 1.5 リットルで、同化箱や連結管の容積は二酸化炭素濃度の変化を正確に捉えるのに十分なほど小さいものとする。
- (3) 同様に、この葉 1 枚が呼吸により産生した二酸化炭素の量は 1 分間あたり何グラムかを見積る場合の計算式を示せ。
- (4) 同様に、光を照射している間にこの葉 1 枚がルビスコにより固定した二酸化炭素の量は 1 分間あたり何グラムかを見積る場合の計算式を示せ。
- (5) この葉の光-光合成曲線は図 14 のようなものであったが、実験に使用する空気中の二酸化炭素の濃度はそのままに、酸素の濃度を人工的に 2% に下げた (代わりに窒素を補充した) 場合の結果を示すグラフとして適当と判断されるものを次ページの①~⑥から 1 つ選ぶとともに、その理由を述べよ。ただし別の実験により、呼吸の速度は変化しないことが確認されているものとする。

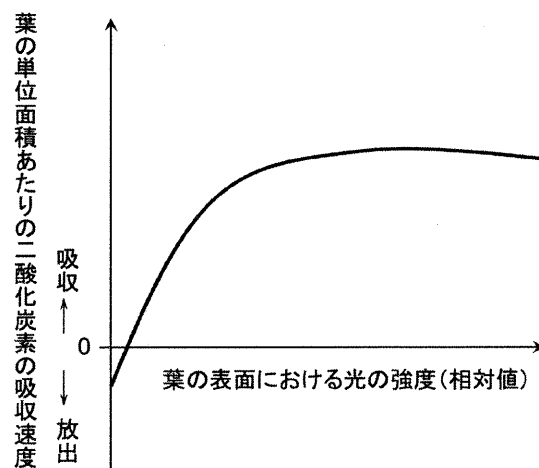
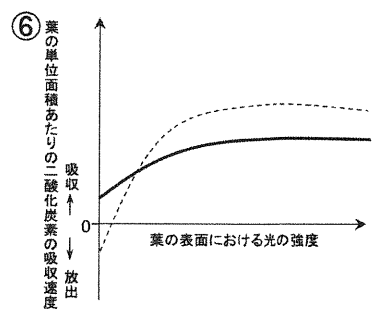
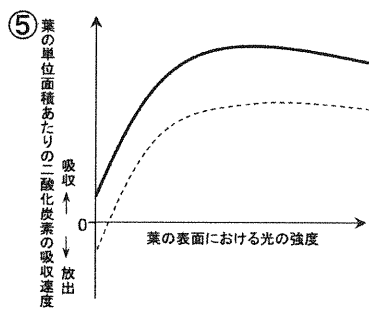
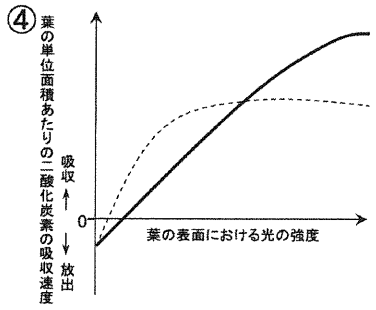
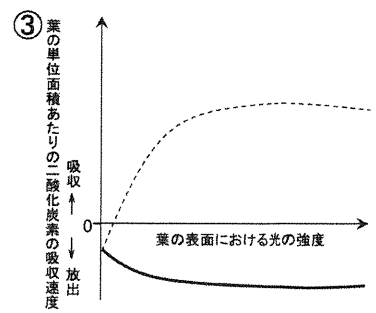
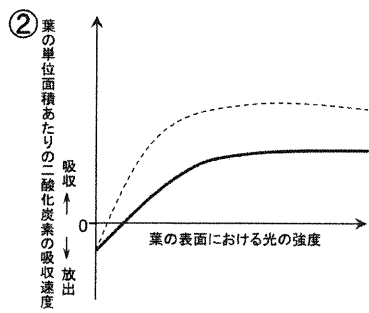
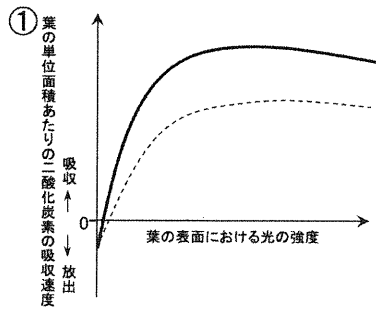


図 14



注：点線は図 14 のグラフを示す。

