

京都大学

平成 29 年度 入 学 試 験 問 題

理 科

各科目 100 点満点

《配点は、一般入試学生募集要項に記載のとおり。》

物 理	(1～14 ページ)	化 学	(15～34 ページ)
生 物	(35～52 ページ)	地 学	(53～66 ページ)

(注 意)

1. 問題冊子および解答冊子は係員の指示があるまで開かないこと。
2. 問題冊子は表紙のほかに 66 ページである。また、解答冊子は表紙のほかに、物理：16 ページ、化学：20 ページ、生物：12 ページ、地学：20 ページ、である。
3. 問題は物理 3 題、化学 4 題、生物 4 題、地学 4 題である。
4. 試験開始後、選択した科目の解答冊子の表紙所定欄に学部名・受験番号・氏名をはっきり記入すること。表紙には、これら以外のことを書いてはならない。
5. ◇総合人間学部(理系)・理学部・農学部受験者は、物理・化学・生物・地学のうちから 2 科目を選択すること。
◇教育学部(理系)受験者は、物理・化学・生物・地学のうちから 1 科目を選択すること。
◇医学部・薬学部受験者は、物理・化学・生物のうちから 2 科目を選択すること。
◇工学部受験者は、物理・化学の 2 科目を解答すること。
6. 解答は、すべて解答冊子の指定された箇所に記入すること。
7. 解答に関係のないことを書いた答案は無効にすることがある。
8. 解答冊子は、どのページも切り離してはならない。
9. 問題冊子は持ち帰ってもよいが、選択した科目の解答冊子は持ち帰ってはならない。

生 物

(4 問題 100 点)

生物問題 I

次の文章(A), (B)を読み, 問 1 ~ 問 6 に答えよ。解答はすべて所定の解答欄に記入せよ。

- (A) 神経細胞(ニューロン)は特徴的な形状をもっている。神経細胞の細胞体からは, ふつう 1 本の軸索と多数の樹状突起が突き出ている。通常, 神経細胞の細胞内の電位は, 細胞外の電位より 60~90 mV 低くなっている。この状態の電位を静止電位という。細胞に与える刺激を徐々に強くしていくと, ある強さに達したときに細胞内外の電位差の正負が逆転し, 速やかに元に戻る。このような電位変化を活動電位という。活動電位は Na^+ が流入することにより発生するが, Na^+ の流入の駆動力
①は細胞内外の Na^+ の濃度差である。

問 1 下線部①について, Na^+ の濃度差の発生と細胞内への流入には, チャネルとポンプが関与している。この 2 つのタンパク質のはたらきの違いについて, 解答欄の枠の範囲内で説明せよ。

問 2 ある種の微生物は、チャネルロドプシンとよばれる光刺激で開くチャネルをもっている。チャネルロドプシンにはいくつかの種類があり、 Na^+ を透過するものや Cl^- を透過するものが知られている。 Na^+ を透過するチャネルロドプシンの遺伝子を神経細胞に導入して発現させると、光刺激で神経細胞を興奮させることができるようになる。この神経細胞を同じ強度で波長が異なる光を照射して刺激し、活動電位の大きさを測定したところ、図1のようになった。また、このチャネルロドプシンの波長ごとの吸光度を測定したところ、図2のようになった。2つのグラフの形が一致しない理由を、解答欄の枠の範囲内で説明せよ。

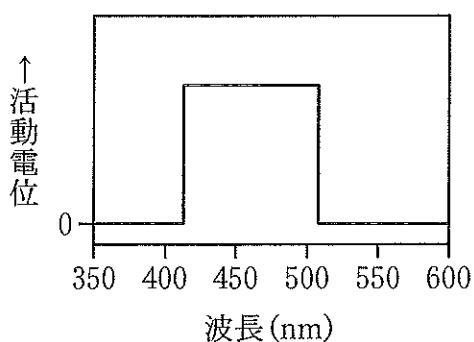


図 1

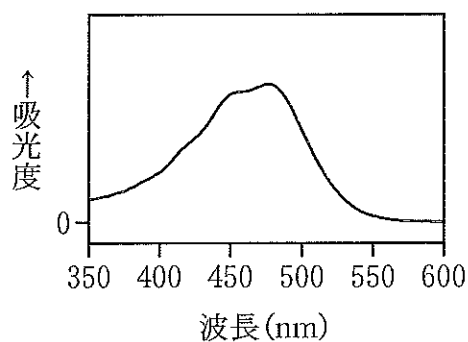


図 2

問 3 光刺激によって細胞内に Cl^- を流入させるチャネルロドプシンを神経細胞で発現させた。この神経細胞を暗黒下で電氣的に刺激すると、図 3 のように、細胞内の電位が $-V_1$ から V_2 に変化するような活動電位が発生した。これと同じ強さの電気刺激を与えながらさまざまな強さの光刺激を与えた場合、この細胞はどのような応答を示すと考えられるか、可能性のあるものを図 4 の (あ) ~ (か) からすべて選び、解答欄に記入せよ。ただし、光刺激による $-V_1$ の変化は考慮しないものとする。

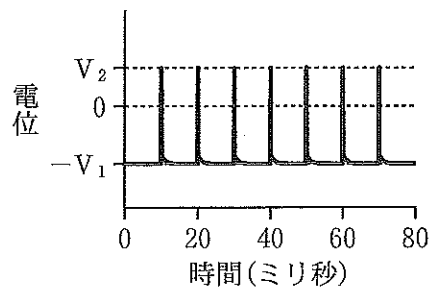


図 3

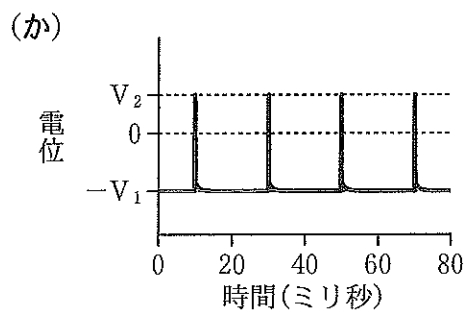
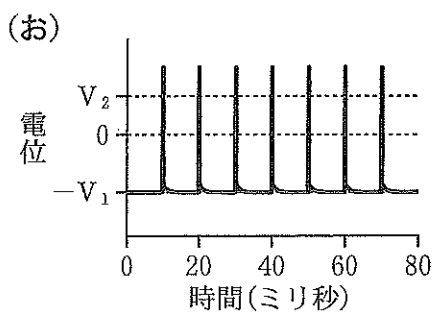
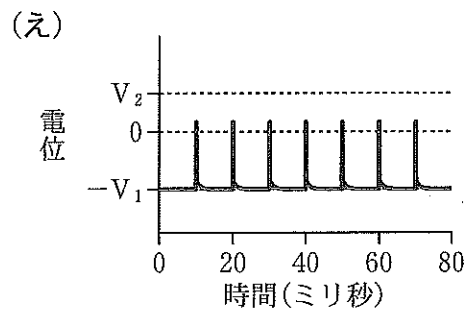
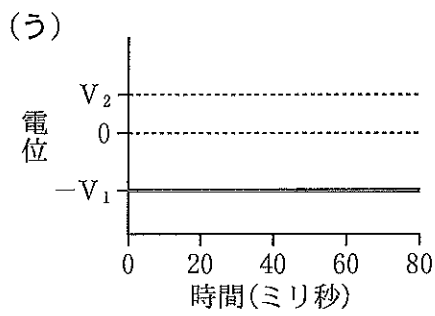
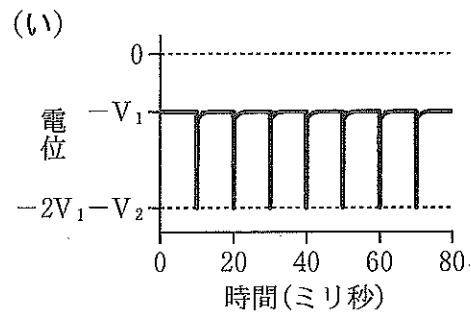
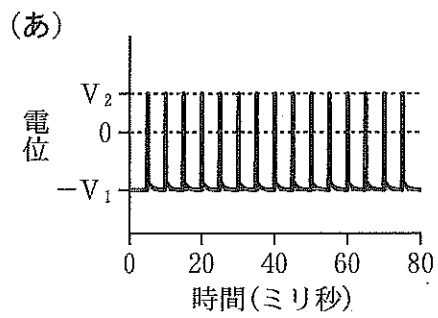


図 4

(B) 土壤に含まれる水分には、生物体の分解などによって生じたアンモニウムイオン、アの活動により生じた硝酸イオンなどが溶けている。植物はこれらの無機窒素化合物を根から吸収する。植物体内に入った硝酸イオンは、亜硝酸イオンを経てアンモニウムイオンに変換される。アンモニウムイオンがアミノ酸の一種であるイと結合することにより、ウがつくられ、窒素同化は進んでいく。アミノ酸だけでなく、核酸成分などに存在する窒素も、窒素同化に由来する。

一般に植物は窒素を硝酸イオンとして吸収することが多いが、アンモニウムイオンも少量であれば取り込むことができる。一方、ある種の細菌は、窒素固定を行い、大気中の窒素をもとにアンモニアなどの窒素化合物をつくり出すことができる。マメ科植物の根に見られる根粒は、窒素固定を行うことのできる根粒菌が根に侵入することでつくられる器官であり、この器官に基づき両者のエ関係が成立する。根粒菌は、大気中の窒素分子の強固な三重結合を切ってアンモニアに変換するニトロゲナーゼという酵素を有している。興味深いことに、根粒が通常より^②過剰にできてしまうマメ科植物の変異体は、^③過剰な根粒形成により、通常の植物と比較して成長速度が低下することが知られている。また、このような窒素の変換とは逆に、オと呼ばれる細菌は、土壤中の硝酸イオンを再び窒素に変換して大気中に放出している。

問 4 文中の ア ～ オ に当てはまる適切な語句を解答欄に記せ。

問 5 下線部②の根粒菌のニトロゲナーゼは酸素に非常に弱い、マメ科植物はこのことにある方法で対処している。その方法を推定し、以下の語句を用いて、解答欄の枠の範囲内で記せ。

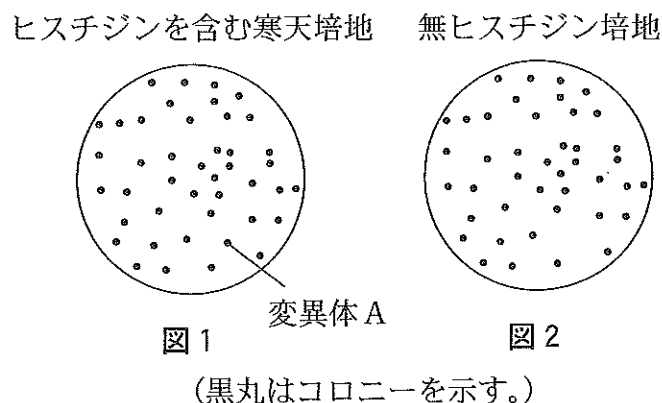
感染細胞，酸素濃度，鉄含有タンパク質

問 6 下線部③のような現象が起こる理由を推定し、解答欄の枠の範囲内で説明せよ。

生物問題 II

次の文章(A)、(B)を読み、問1～問6に答えよ。解答はすべて所定の解答欄に記入せよ。

(A) XとYは新しく合成された有機化合物であるが、その人体への影響は調べられていない。有機化合物の中には突然変異を誘発する作用をもつものがあるので、XとYにそのような作用があるかどうか調べるために、次の実験1～実験4を行った。



実験1：ある細菌を、Xを加えた培養液で一晩培養した。そのあとXを取り除き、ヒスチジンを含む寒天培地の上に広げて培養して、コロニーを形成させた(図1)。それぞれのコロニーを形成した細菌を、ヒスチジンを含まない寒天培地(以下、無ヒスチジン培地と呼ぶ)に位置関係を保ったまま移して培養したところ、図2のように、1つのコロニーに由来する細菌(変異体A)だけが増殖しなかった。なお、ヒスチジンは、この細菌が増殖するためには不可欠なアミノ酸である。

実験2：実験1で得られた変異体AをXを加えた培養液で再び一晩培養したあと、Xを取り除いて、無ヒスチジン培地の上に広げて培養した。すると、数は少ないがコロニーが形成された。このことは、変異体Aの一部がさらに突然変異を起こして、培地中にヒスチジンが含まれていなくても増殖できるようになったことを示している。一方、変異体Aを、Yを加えた培養液で一晩培養したあと、Yを取り除いて無ヒスチジン培地の上に広げて培養したところ、コロニーは1つも形成されなかった。

実験 3：続いて、X、Y と生体内の物質の相互作用を調べるために、動物(ラット)の肝臓を生理食塩水の中で破碎して得た抽出液(肝臓抽出液)を用いた。この肝臓抽出液にはヒスチジンは含まれていない。また、肝臓抽出液を培養液に加えて変異体 A を一晩培養したあと、無ヒスチジン培地の上に広げて培養しても、コロニーは形成されなかった。

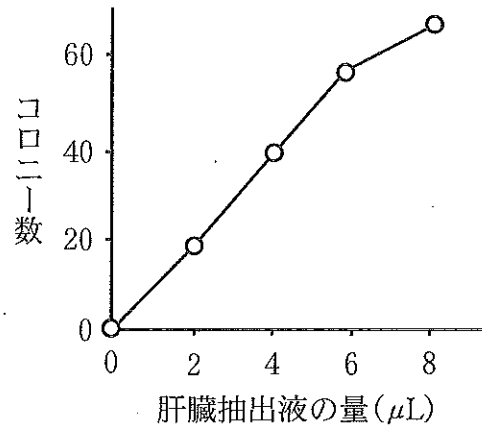


図 3

X を種々の量の肝臓抽出液と混合して 37℃ で 1 時間保温し、その混合物を培養液に加え、変異体 A を一晩培養した。そのあと X を取り除いて、無ヒスチジン培地の上に広げて培養した。すると、X と混合した肝臓抽出液の量によらず、形成されるコロニーの数は同じであった。一方、同様に Y と肝臓抽出液を混合して、37℃ で 1 時間保温し、その混合物を培養液に加え、変異体 A を一晩培養した。そのあと Y を取り除いて、無ヒスチジン培地の上に広げて培養した。すると、Y と混合した肝臓抽出液の量が多いほど形成されるコロニーの数が多くなった(図 3)。

実験 4：肝臓抽出液を 80℃ で 10 分間加熱処理したあと、Y と混合して 37℃ で 1 時間保温した。その混合物を培養液に加え、変異体 A を一晩培養した。そのあと Y を取り除いて、無ヒスチジン培地の上に広げて培養した。すると、コロニーは形成されなかった。

問 1 下線部①について、変異体 A が無ヒスチジン培地で増殖しなかったのは、どのような遺伝子に突然変異が存在するためと考えられるか、解答欄に記せ。

問 2 実験 3 において、Y と肝臓抽出液を混合して 37℃ で保温するとコロニーが形成されるようになった理由を考え、解答欄の枠の範囲内で説明せよ。

問 3 実験 4 の結果から、図 3 の結果をもたらした肝臓抽出液に含まれる物質の性質と種類について推定されることを、解答欄の枠の範囲内で記せ。

(B) 多くの細胞にとって最も利用しやすいエネルギー源はグルコースである。しかしグルコースが欠乏している場合は、他の炭素源からもエネルギーを得ることができる。例えば、炭素源としてラクトースしか含まない培地に大腸菌を移すと、数分以内にラクトースを利用できるようになる。このように、環境変化に対して柔軟に対応することができる大腸菌(遺伝子数約 4,000)と比べて、動物体内に寄生する細菌であるマイコプラズマの遺伝子数は大幅に少ないことが知られている。実際、現在知られている中で遺伝子数が最も少ない生物は、477 個の遺伝子をもつマイコプラズマの 1 種 *Mycoplasma genitalium* である。

2016 年 3 月 25 日号の科学誌サイエンスにおいて、米国の研究グループは、地球上で最も少ない遺伝子数(473 個)で増殖することができる細菌を人工的に作り出したと発表した。研究グループは、901 個の遺伝子をもつ *Mycoplasma mycoides* を出発材料として用い、37℃ の恒温条件で、グルコースに加え複数の炭素源を含む栄養豊富な寒天培地において、増殖するためには必要のない遺伝子(非必須遺伝子)を選別する実験を行った。そして、*Mycoplasma mycoides* のゲノムから非必須遺伝子を除いた 473 個の遺伝子をもつ細菌を人工的に作り出した。

非必須遺伝子と増殖に必要な必須遺伝子を区別する実験では、ゲノム内のさまざまな位置に無作為に挿入できるトランスポゾンという 2 本鎖 DNA が用いられた。このトランスポゾンは、ピューロマイシンという抗生物質に対する抵抗性を与えるタンパク質の遺伝子を含んでいる。トランスポゾンがマイコプラズマのゲノムに挿入されると、挿入位置にかかわらず、そのマイコプラズマはピューロマイシン抵抗性となり、寒天培地にピューロマイシンが含まれていても増殖してコロニーを形成する。しかし同時に、トランスポゾンが挿入された位置の DNA 領域が本来もっていた機能は失われる。トランスポゾンが挿入された場所は、DNA シーケンサーを用いた解析により容易に決定できる。

- 問 4 トランスポゾンが必須遺伝子のプロモーター領域に挿入されるとそのマイコプラズマは寒天培地上でどうなるか，理由とともに解答欄の枠の範囲内で説明せよ。
- 問 5 下線部②について，遺伝子数 473 個の人工細菌を，グルコースは含まないが，それ以外の複数の炭素源を含む栄養豊富な寒天培地に移して 37℃ で培養するとどうなるか，理由とともに解答欄の枠の範囲内で説明せよ。
- 問 6 最小遺伝子数を更新した実験結果を参考にして，細菌が増殖するためには，どのような過程に関与する遺伝子群が最低限必要か考察し，特に重要な過程を 5 つ，解答欄に記せ。ただし，代謝や呼吸といった大きなくくりではなく，窒素同化，クエン酸回路といった具体的な過程を記すこと。

生物問題 III

次の文章(A)、(B)を読み、問1～問7に答えよ。解答はすべて所定の解答欄に記入せよ。

(A) 免疫は、病原体などの異物の侵入を防いだり体内から排除したりする生体防御の仕組みであるが、ヒトでは通常、自己の体の構成成分に対する免疫応答は起こらない。しかし、他人の臓器(例えば肝臓や皮膚など)を移植すると、移植臓器はT細胞などに攻撃され、定着が妨げられる。これを拒絶反応という。このため、他人から臓器を移植する際には、T細胞などの機能を抑制するために、免疫抑制剤を投与するなどの処置が必要である。

血液には赤血球、白血球、血小板などが含まれている。赤血球や血小板を補うための輸血は、最も頻繁に行われている移植といえる。輸血には、血液から分離した赤血球や血小板を用いることが一般的である。この赤血球や血小板は、通常、他人由来のものであるが、輸血は免疫抑制剤を投与することなく行われている。ただし、^①血小板輸血を繰り返した場合、^②輸血した血小板が体内から早期に無くなってしまうことがある。また、白血球の1種であるT細胞に関しては、他人のT細胞^③を輸血により補うことは通常行われない。

問 1 下線部①について、赤血球は例外的に拒絶反応の対象となりにくいことが知られている。これは、赤血球の細胞表面上にどのような特性があるためであると考えられるか。臓器移植において、移植された臓器を免疫系が他人由来のものと認識する仕組みと関連させて、解答欄の枠の範囲内で記せ。

問 2 下線部②のような現象が起こる仕組みについて、解答欄の枠の範囲内で記せ。

問 3 下線部③について、その理由として考えられることを解答欄の枠の範囲内で記せ。

(B) 水平に置かれた植物の幼葉鞘は負の重力屈性により重力と逆方向に屈曲する。

④
この様子を横から4時間おきに暗黒下で観察した結果を図1に模式的に示す。

幼葉鞘の各部位はそれぞれ独立して重力に応答することが知られている。これをもとに、図2に示す簡単なモデルを使って幼葉鞘の重力屈性を再現した。便宜上、幼葉鞘の基部(点0)と頂点(点6)の間に等間隔に点1～5を定め、各点で幼葉鞘が折れ曲がるとする。点 N ($1 \leq N \leq 5$)について、点 $N-1$ と点 $N+1$ を結んだ線分と鉛直方向の間の角度を A_N とすると、点 N における重力刺激の程度は ア に比例するので、短い時間間隔で屈曲度 θ_N は $\alpha \times$ ア (α は正の定数)だけ増加する。点0と点1を水平に固定し、まっすぐな状態の幼葉鞘から順に計算を繰り返した結果、4時間ごとの点2～6の位置は、図3のようになった。なお、モデルでは、屈曲する間の幼葉鞘の伸長は無視した。

幼葉鞘には、屈曲度に応じて、自分自身をまっすぐに戻そうとする力(ここでは「復元力」と呼ぶ)が働くことが知られている。この効果をモデルに入れるため、局所的な重力応答に加え、短い時間間隔で $\beta \times$ イ (β は正の定数)だけ屈曲度が減少するとして同様の計算を行ったところ、図4の結果が得られた。

光による屈曲と重力による屈曲が同時に起こる光屈性も同じようにしてモデル化することができる。ただし、光による幼葉鞘の屈曲は、上に述べた重力応答と大きく異なる点があるので、それをモデルに反映させる必要がある。

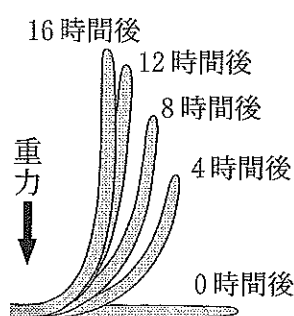


図1

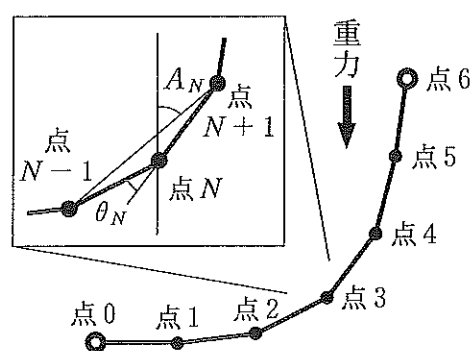


図2

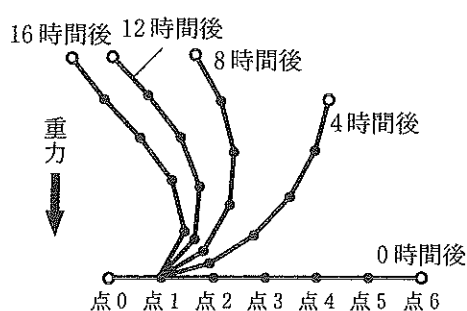


図 3

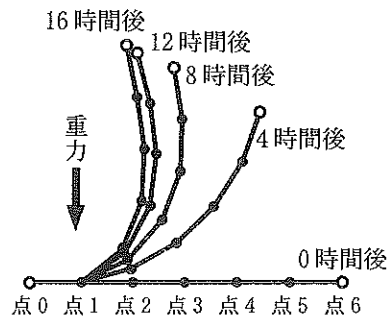


図 4

問 4 下線部④について、重力屈性によって屈曲が起こる仕組みを、「オーキシン」という語句を用いて解答欄の枠の範囲内で説明せよ。

問 5 ア , イ に当てはまる最も適切な式を、次の(あ)～(け)よりそれぞれ選べ。

- | | | | |
|----------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------|
| (あ) $\sin A_N$ | (い) $\cos A_N$ | (う) $\frac{1}{A_N}$ | (え) θ_N |
| (お) $\cos \theta_N$ | (か) $\frac{1}{\theta_N}$ | (き) $A_N \times \theta_N$ | (く) $A_N + \theta_N$ |
| (け) $\frac{A_N}{\theta_N}$ | | | |

問 6 図 3 と図 4 の結果をもとに、重力屈性において復元力が果たす役割を、解答欄の枠の範囲内で述べよ。

問 7 下線部⑤について、モデルをどのように変更する必要があるか、解答欄の枠の範囲内で説明せよ。

生物問題 IV

次の文章(A)、(B)を読み、問1～問5に答えよ。解答はすべて所定の解答欄に記入せよ。

- (A) 極相林では、樹高の高い成木が林冠を形成しており、林床は暗くそこに生育する幼木が大きく成長するのは困難である。しかし、図1に示すように、暗い林床でもさまざまな光合成特性をもった樹種の幼木が見られる。成木が倒れた時に空き地が作られ、それはギャップと呼ばれる。ギャップができると林床は明るくなり、幼木が成長し成木へと育っていく。こうしたギャップによる世代交代はギャップ更新と呼ばれる。極相林を構成する長い寿命をもつ樹木種でも、ギャップ更新によって世代交代を繰り返すことができる。その結果、極相林は維持されている。ギャップが生じたあと幼木は伸長成長を始めるが、幼木が成木になるためには、他の個体よりもいち早く成長し林冠を形成する必要があるため、樹木間で競争が生じる。そのような競争が起こるにもかかわらず、特に熱帯林では多くの樹木種が見られ、高い種多様性が維持されている。

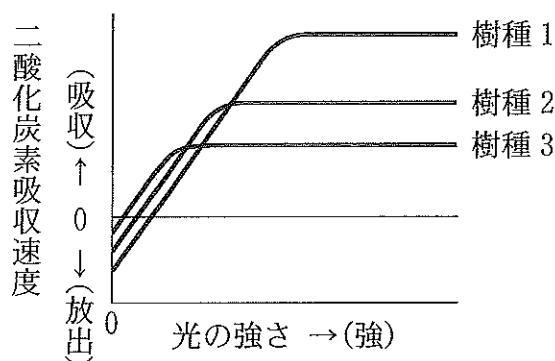


図1 林床に生育する典型的な3樹種の光—光合成曲線

問 1 下線部①に関連して、13 樹種の幼木を用いた実験を行った。各樹種の幼木を複数植木鉢にうえ、半数ずつ 2 つの実験区に分けた。1 つの実験区では幼木を最後まで弱光下で育てた。もう 1 つの実験区では、幼木をしばらく弱光下で育てた後に強光下に移した。それぞれの実験区で、幼木の成長速度の速い方から遅い方へ、樹種ごとに順位をつけていった。その結果、光飽和下で高い光合成速度を示す樹種が、弱光から強光に移すと種の順位を上げた(図 2)。このような結果が得られた理由について、図 1 を参考にして、解答欄の枠の範囲内で説明せよ。

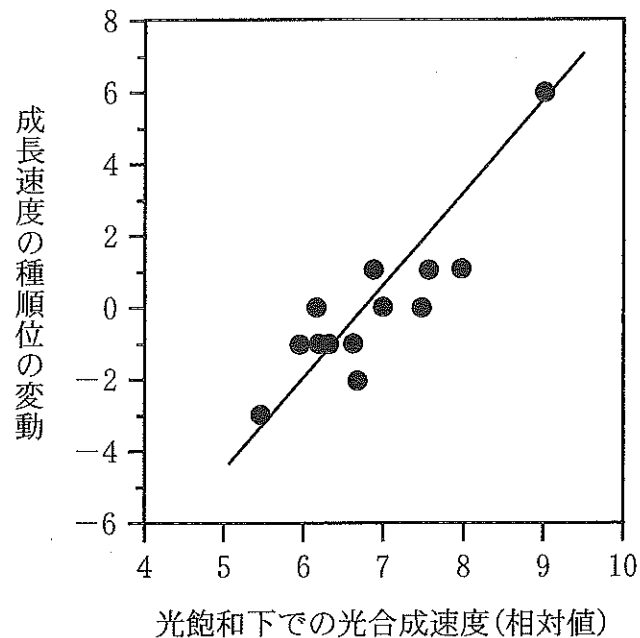


図 2 光飽和下での光合成速度と幼木の成長速度の種順位の變動

(黒丸は各樹種の点。縦軸は、弱光下での種順位から強光下での種順位を引いた値。プラスの値は順位が上がったことを、マイナスの値は順位が下がったことを示す。)

問 2 下線部②について、ギャップの形成は、樹木の多様性の維持にどのような影響を与えると考えられるか。問 1 に記した実験結果をふまえて、解答欄の枠の範囲内で説明せよ。

(B) 海洋におけるおもな生産者は、植物プランクトンである。海洋全体の純生産量は陸上全体の純生産量に匹敵すると見積もられているが、海洋では、純生産量の大きさ^③に対し生産者の現存量が著しく小さいことが特徴である。植物プランクトンは多様な生物種から構成されるが、海洋全体の純生産量においては、光合成を行う原核^④生物のシアノバクテリア、真核生物の珪藻類とハプト藻類の貢献度が高いと考えられている。

図3は、分子系統学的解析に基づく真核生物の系統を示している。真核生物にはおよそ8つの系統群があると考えられている。珪藻類とハプト藻類を含む、おもに水生の酸素発生型光合成を行う生物を総称して藻類と呼ぶ。系統樹上では、珪藻類はストラメノパイル、ハプト藻類はハクロビアに含まれる。アーケプラスチダには、陸上植物と藻類の緑藻類や紅藻類が含まれる。エクスカバータとアルベオラータにも藻類が含まれる。このように藻類は1つのまとまった系統群ではなく複数の系統群に属する。

藻類の葉緑体には、核内のDNAとは異なる葉緑体DNAがある。藻類や種子植物などさまざまな光合成生物の葉緑体DNAの遺伝子を用いて遺伝子系統樹を作成すると、すべての生物の葉緑体DNAの遺伝子は、シアノバクテリアのものと近縁であることがわかった。アーケプラスチダに属する生物の葉緑体は2枚の膜で包まれている。一方、ハクロビアに属するクリプト藻類の葉緑体は、4枚の膜で囲ま^⑤れている。クリプト藻類は、4枚の膜で包まれた葉緑体DNAに加え、2枚目と3枚目の膜の間にも異なるDNAをもち、その遺伝子の塩基配列は紅藻類の核DNAのものに最も類似している。

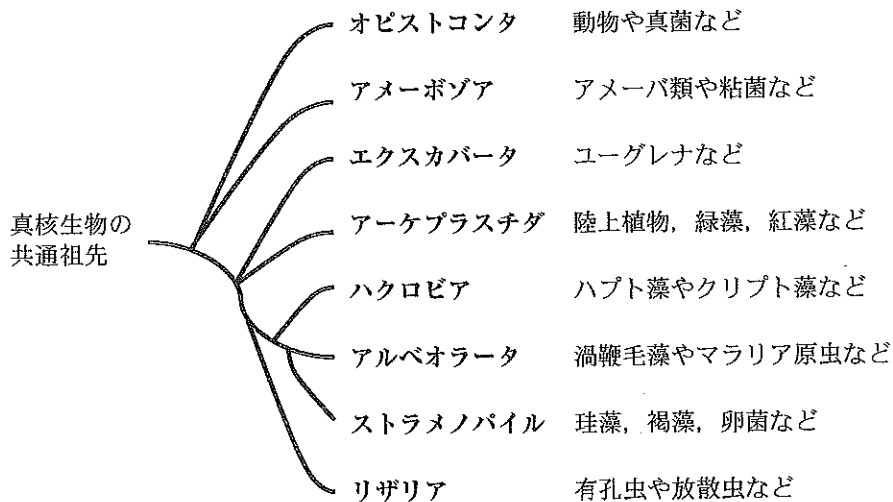


図3 真核生物の系統樹とそれぞれの系統群に含まれる代表的な生物群

問 3 下線部③について、海洋において純生産量に対する生産者の現存量が著しく小さい理由を、解答欄の枠の範囲内で説明せよ。

問 4 下線部④について、シアノバクテリアは緑色植物と似た光化学系をもち、酸素発生型光合成を行うが、酸素非発生型光合成を行う光合成細菌もいる。このような酸素非発生型光合成細菌の光化学系の特徴を、解答欄アの枠の範囲内で説明せよ。また、シアノバクテリアの光化学系が酸素非発生型光合成を行う光合成細菌の光化学系から進化したとすると、光合成色素に関してどのような変化があったと考えられるか、解答欄イの枠の範囲内で説明せよ。

問 5 下線部⑤について、クリプト藻類の葉緑体の直接の起源となった生物を推定して解答欄あに記せ。さらに、クリプト藻類がどのような進化的過程をたどって酸素発生型の光化学系をもつようになったのかを考え、解答欄いの枠の範囲内で説明せよ。

生物問題は、このページで終わりである。