

(平 26 前)

理 科

	ページ
物 理.....	1～ 6
化 学.....	7～13
生 物.....	14～26
地 学.....	27～32

・ ページ番号のついていない白紙は下書き用紙である。

注意 解答はすべて答案用紙の指定のところに記入しなさい。

物 理	75 点
化 学	75 点
生 物	75 点
地 学	75 点

生 物

I 次の文章(I a), (I b)を読んで, 問1～5に答えなさい。(配点19点)

(I a)

DNA は遺伝情報を伝える化学物質として知られている。DNA の構成単位であるヌクレオチドは, 塩基(アデニン, グアニン, チミン,) , 糖の一種である , およびリン酸によって構成される。 とリン酸が交互につながってできた2本の骨格が, アデニンとチミン, グアニンと という相補的な塩基の組み合わせ(塩基対)により結びつき, 二重らせん構造を形成する。4種類の塩基の組成は生物種によって異なり, ある生物が持つDNA中の総塩基数に占めるグアニンの割合が23%であれば, チミンの割合は %である。

細胞が分裂する際には, 遺伝情報を娘細胞に伝えるため, あらかじめDNAを複製する必要がある。DNA複製ではまず二本の鎖がほどかれ, それぞれの鎖を鋳型として, と呼ばれる酵素が, 鋳型上の塩基と相補的な塩基を含むヌクレオチドを順につなげることで新しい鎖が合成される。このように新旧の鎖による二重らせんが生じるDNA複製の様式を といい, メセルソンとスタールの実験によって証明された。原核細胞のDNAは環状の単一分子であるのに対して, 真核細胞のDNAは複数の線状分子に分かれている。例えば, ヒト細胞は46本の染色体を持つことが知られているが, それぞれの染色体には二本鎖DNAが一分子ずつ含まれる。DNA複製はDNA上のある決まった点(複製起点)から開始され, 両方向に進行する。原核細胞のDNAが複製起点を一か所持つのに対して, 真核細胞ではそれぞれのDNA上に複数の複製起点が存在する。真核細胞のDNAは というタンパク質と結合してヌクレオソーム構造を取っており, 分裂期になると各DNA分子が高度に凝縮することにより染色体が形成される。

問1 空欄 ～ にあてはまる最も適切な語句, または数字を解答欄に記入しなさい。

問 2 メセルソンとスタールは、窒素の同位体である ^{15}N を含む塩化アンモニウムのみを窒素源とする培地中で大腸菌を何世代も培養した後、通常の ^{14}N を含む培地に移して DNA を 1 回複製させると、図 1 のように ^{14}N を含む軽い鎖 (L) と ^{15}N を含む重い鎖 (H)、それぞれ一本ずつから成る DNA が生じることを示した。

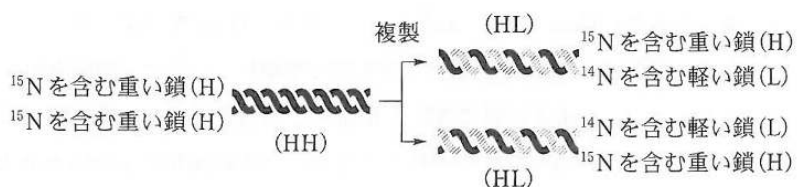


図 1

同様に大腸菌内の窒素をほとんど ^{15}N で置き換えた後、 ^{14}N を含む培地に移して DNA を 4 回複製させたとき、二本とも軽い鎖を含む DNA (LL)、重い鎖と軽い鎖を一本ずつ含む DNA (HL)、二本とも重い鎖を含む DNA (HH) がどのような比で生じるか答えなさい。解答は LL : HL : HH の形とし、まったく生じないものについては 0 で表すこと (例えば、図 1 のように DNA が 1 回複製された時は HL のみが生じるので、0 : 1 : 0 となる)。

(I b)

物質 X と物質 Y はいずれもチミンの類似体であり、これらの物質を増殖中のヒト細胞の培地に加えると、複製により新たに合成されている途中の DNA の鎖にチミンの代わりに取り込まれる。物質 X と物質 Y はそれぞれと反応する試薬によって別の色に染め分けることができ、この方法を使って DNA 中でこれらの物質が取り込まれた位置を光学顕微鏡で区別して観察することができる。物質 X や物質 Y を培地に加えないければ、細胞は通常のチミンを含む DNA を合成する。

物質 X も物質 Y も含まない通常の培地中で増殖しているヒト細胞を使って、以下の実験を行った。まず培地に物質 X を加えて 10 分間培養し、その直後に物質 X を洗い流した。このような操作を行うことで、この 10 分間に合成された DNA 鎖にのみ物質 X を取り込ませることができる。その後すぐに物質 Y を含む培地を加えてさらに 10 分間培養した。次に物質 Y を洗い流し、物質 X も物質 Y も含まない培地でさらに一定時間培養を続けた。この細胞から DNA を取り出し、スライドグラス上に引きのばして観察することができる。物質 X と物質 Y をそれぞれと反応する試薬で染色し、顕微鏡で観察したところ図 2 のような像が見られた。なお、ここで物質 X も物質 Y も含まない DNA を直接観察することはできないが、図 2 では白線の部分にも二本鎖 DNA がのびているものとする。

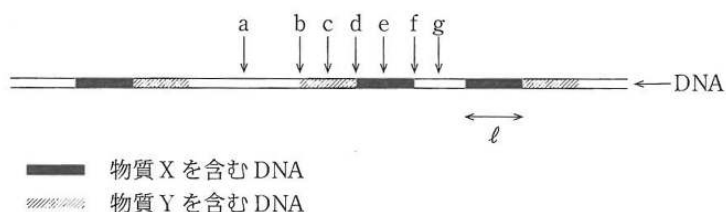


図 2

問 3 文章(I a)で述べられている複製起点は、図 2 の a ~ g のうちどこであると考えられるか。一つ選び記号で答えなさい。

問 4 図 2 の ℓ の距離を測定したところ 1.7×10^{-5} メートルであった。このことから、ヒト細胞の DNA 複製を行う酵素が鎖を伸長する速度(単位:ヌクレオチド/秒)を求めなさい。なお、DNA の二重らせん一回転の長さは 3.4×10^{-9} メートルで、その中に 10.4 塩基対が含まれるものとする。

問 5 制限酵素は特定の短い塩基配列を認識して二本鎖 DNA を切断することができる。例えば、ある制限酵素 P は図 3 のような 6 塩基対から成る配列を認識して矢印の位置で DNA 鎖を切断する。

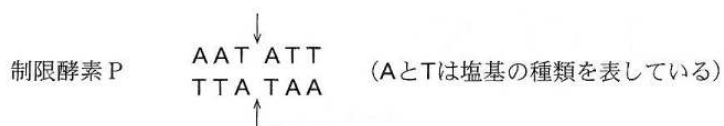


図 3

複製途中の DNA を制限酵素で切断すると、さまざまな形の DNA 断片が生じる可能性がある。DNA 合成期(S 期)のヒト細胞から DNA を取り出して制限酵素 P で完全に切断したとき、図 4 の A ~ E の中で通常は生じない形の断片はどれか。一つ選んで記号で答え、その理由を 60 字以内で説明しなさい。なお、ここで実線は連続した一本の DNA の鎖を示し、二重線は DNA が二重らせん構造を取っている部分を示している。

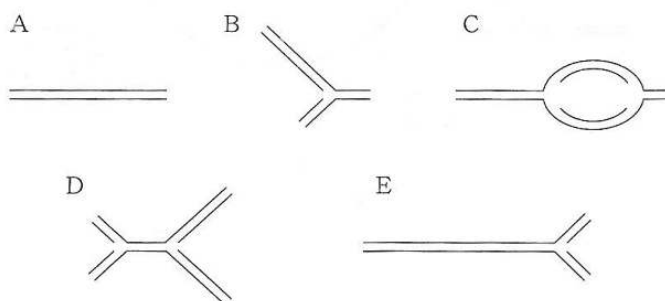


図 4

Ⅱ 次の文章(Ⅱ a)，(Ⅱ b)を読んで，問 1 ～ 4 に答えなさい。(配点 19 点)

(Ⅱ a)

図 1 は， C_3 植物の光合成の概要を示したものである。

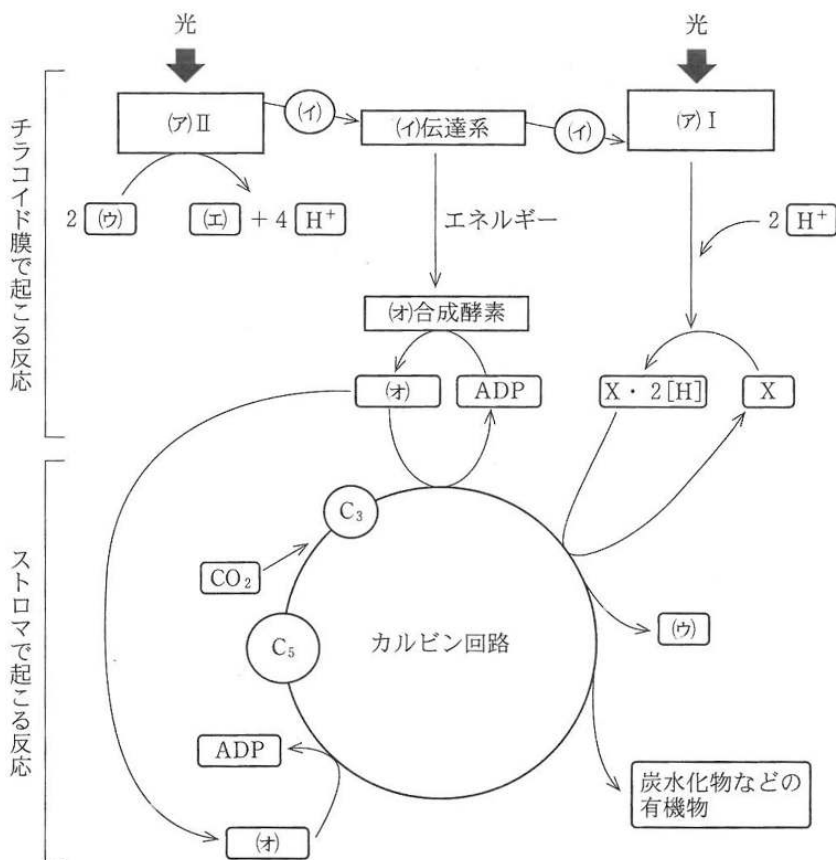


図 1

光合成は、図1に示されるように多くの反応からなり、それらは葉緑体内のチラコイド膜で起こる反応およびストロマで起こる反応に大きく分けられる。まず、葉緑体チラコイド膜に存在する2つの のクロロフィル分子に吸収された光エネルギーは、チラコイド膜で の流れを作り出す。この の源は であり、 が光によって酸化され が発生する。 由来の は、ストロマで機能するカルビン回路を動かすために必要な化学エネルギーをもつ補酵素 $X \cdot 2[H]$ の生成に使われる。また、チラコイド膜での の流れは、カルビン回路を動かすためのもう一つの化学エネルギーをもつ の生成に不可欠である。 は、チラコイド膜に存在する 合成酵素により生成される。カルビン回路では、生葉の気孔を介して葉緑体に入ってきた二酸化炭素 (CO_2) が、炭水化物などの有機物へ変換される。このとき、リブロース 1,5-ビスリン酸カルボキシラーゼ/オキシゲナーゼ(ルビスコ)と呼ばれる酵素は C_5 化合物(リブロース 1,5-ビスリン酸)と CO_2 の反応を触媒し、 C_3 化合物(ホスホグリセリン酸)を生成する。ホスホグリセリン酸は、その後、補酵素 $X \cdot 2[H]$ と の化学エネルギーにより、炭水化物などの有機物へ変換されたり、カルビン回路でのリブロース 1,5-ビスリン酸の再生に用いられる。

問1 図1の ~ にあてはまる最も適切な語句を解答欄に記入しなさい。

(Ⅱ b)

図 2 a は、ある C_3 植物の生葉で、見かけの光合成速度と生葉に照射される光の強さの関係を示したものである。この実験では生葉の温度は 25°C に保たれている。さらに、生葉の周りの CO_2 濃度は 1 % に維持され、 CO_2 の供給は光合成を制限しないものとする。また、図 2 b は、見かけの光合成速度と生葉内部の CO_2 濃度の関係を示したものである。この実験では生葉の温度は 25°C に保たれており、生葉へは強い光 (1 万ルクス) が照射され、光の強さは光合成を制限しないものとする。光照射下では呼吸が抑制されるので、生葉内部の CO_2 濃度が 0 % では、図 2 b の呼吸速度は図 2 a での呼吸速度よりも小さくなる傾向にある。

問 2 図 2 a において、光補償点の値を答えなさい。

問 3 図 2 a において、葉面積 100 cm^2 の生葉が 3000 ルクスの光に 8 時間さらされた。このとき生葉全体で、何 mg の炭水化物 ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$: ここではグルコースと仮定する) が光合成により増加したか答えなさい。四捨五入して、小数点以下 2 けたまで答えること。計算のために、以下の値を用いなさい。

原子量 : H 1, C 12, O 16

問 4 図 2 b において、ルビスコの基質であるリブローズ 1,5-ビスリン酸の量は、 CO_2 濃度の変化に対してどのようになるか。図 2 c の 3 つのパターン (①, ②, ③) から適切なものを選び、番号を解答欄に記入しなさい。また、その理由を 100 字以内で説明しなさい。

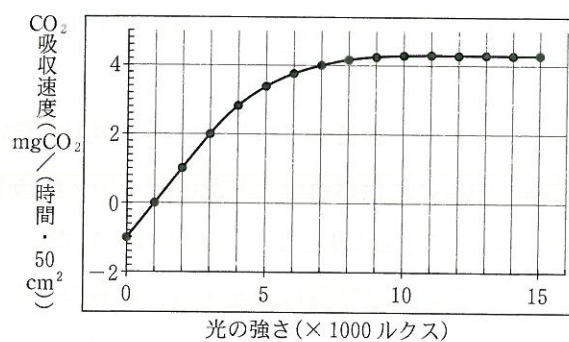


図 2 a

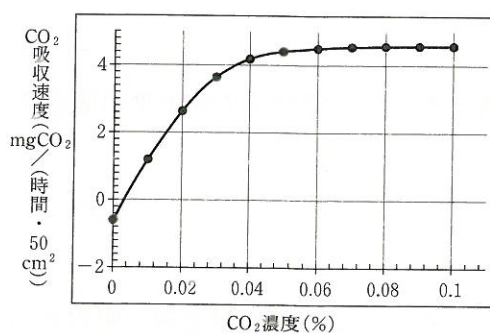


図 2 b

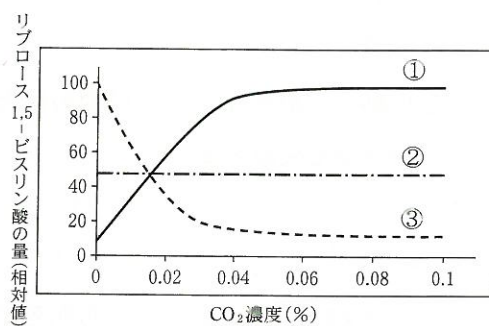


図 2 c

Ⅲ 次の文章を読んで、問 1 ～ 6 に答えなさい。(配点 19 点)

野生型のショウジョウバエの眼色は暗い赤色であるが、化学分析の結果、ショウジョウバエの眼には、明るい朱色の色素と茶色の色素の 2 種類が存在することが判明している。また、眼色の突然変異として、劣性の茶眼変異(*brown*：朱色の色素を欠損している)と、劣性の朱眼変異(*vermillion*：茶色の色素を欠損している)が知られている。なお、ショウジョウバエでは、性染色体が XX の個体は雌、XY の個体は雄となる。

[実験 1]

朱眼雌と、野生型雄を掛け合わせたところ、 F_1 の雌は全て野生型の眼色を示し、雄は全て朱眼となった。

[実験 2]

野生型雌と、朱眼雄を掛け合わせたところ、全ての F_1 が野生型の眼色を示した。

[実験 3]

茶眼雌と朱眼雄を掛け合わせたところ、全ての F_1 が野生型の眼色を示した。次にこれら F_1 の雌と雄を掛け合わせたところ、 F_2 では野生型、茶眼、朱眼、白眼の個体が得られた。

[実験 4]

朱眼変異の原因遺伝子(朱眼遺伝子)は、茶色の色素合成酵素のアミノ酸配列を決定している。この色素合成酵素の量を、朱眼変異体と野生型個体で比較したところ、図 1 のようになった。また、朱眼変異体において、朱眼遺伝子の DNA 塩基配列を調べたところ、プロモーター領域⁽¹⁾に、野生型とは異なる塩基配列が見つかった。なお、色素合成酵素のアミノ酸配列を決定する領域には塩基配列の変異は見つからなかった。

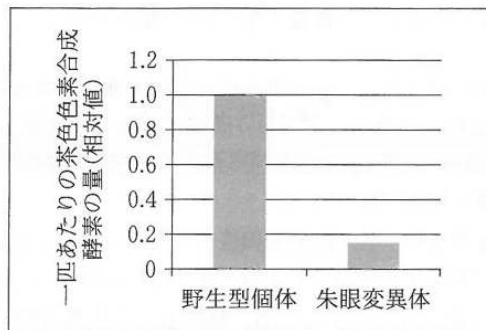


図 1

問 1 朱眼遺伝子および茶眼遺伝子を含むと考えられる染色体を、それぞれ以下の a～c から選び、記号を解答欄に記入しなさい。

- a) X 染色体
- b) Y 染色体
- c) 常染色体

問 2 実験 1 と実験 2 の結果で見られたような、雌雄間で形質の伝わり方が異なる遺伝様式を何と呼ぶか答えなさい。

問 3 実験 3 の F_2 で、白眼の表現型を示す個体を得られたのはなぜか、考えられる理由を 30 字以内で説明しなさい。

問 4 実験 3 の F_2 の表現型の分離比(野生型：茶眼：朱眼：白眼)を、雌雄それぞれの場合について答えなさい。

問 5 実験 4 の下線部(1)について、遺伝子発現におけるプロモーターの役割を 30 字以内で答えなさい。また、真核生物においてプロモーター領域の DNA 配列を認識する因子の名称を答えなさい。

問 6 実験 4 の結果を参考にして、朱眼突然変異体で色素合成酵素の量が低下している理由について、考えられることを 40 字以内で書きなさい。

IV 次の文章を読んで、問 1 ～ 5 に答えなさい。(配点 18 点)

図 1 は太平洋のハワイ島マウナロア山にある米国海洋大気圏局 (NOAA) の観測所で測定された大気中の二酸化炭素 (CO_2) 濃度の経年変化を表している。2013 年 5 月に CO_2 濃度が初めて 400 ppm を上回った。 CO_2 濃度上昇の二要因は人間による ア と森林破壊である。

生物の集団とそれを取り巻く無機的環境のことを生態系といい、森林は陸上で最も地上部の構造が発達する生態系である。図 2 に描かれているように、森林生態系では大気との間で炭素の移動が生じる。森林の一次生産を担う樹木は、光合成によって CO_2 を吸収し、有機物を生産する。気候変動について議論する国際組織 (IPCC) によると、森林は地球全体の面積の約 $\frac{1}{9}$ を占める一方で、 CO_2 吸収量については約 4 割を担っている。地球の「光合成工場」である森林は、大気中の CO_2 濃度に大きな影響を及ぼし、森林が破壊されると CO_2 濃度が上昇する。

さらに、森林は吸収した CO_2 を有機物として長期間にわたって蓄積する、地球の「炭素貯蔵庫」でもある。なぜ、森林には炭素が蓄積されるのか。その理由は、森林生態系を構成する生物の体の大きさによって説明することができる。森林生態系においては 1 である樹木が最大の生物であり、一次 2 (主に草食動物) が食べることができるのは、葉や果実など、樹木体のほんの一部にすぎない。森林生態系では、総生産量の半分以上が植物の呼吸量として消費される。総生産量から呼吸量を引いた 3 のほとんどは 4 として樹木体に貯蔵されるか、 5 として土壤に供給される。これらはやがて微生物などによって分解され、その過程で生じる CO_2 は 6 として大気にもどり、残りは土壤有機物として土壤中に貯蔵される。森林生態系では、炭素は樹木の木部 (主に細胞壁を構成する イ) および土壤有機物 (落葉・落枝や腐植) として生態系内に蓄積される。

また、図 3 は生態系における生産者から消費者へのエネルギーの流れを便宜的に描いたものである。図 2 と図 3 を比べると、図 3 では被食量が拡大されて描かれているのがわかる。実際の森林生態系における総生産量のうち、被食量として食物連鎖系に流れる有機物量は 10 % 程度で、大部分の有機物は樹木や土壤に蓄積される。これに対して、海洋生態系では、 1 である植物プランクトンが最小の生物であり、食物連鎖の高次の 2 ほど、体のサイズが大きくなる傾向がある。一次 2 は植物プランクトンを丸ごと食べるため、より多くの有機物が食物連鎖へと流れる。海洋生態系では森林生態系と比べて総生産量に対する被食量の割合が A なる。

以上のように、森林生態系では、動物は樹木が光合成によって吸収した CO_2 の

うち、ごく一部を消費するだけだったが、人間が森林を切り開き、樹木を丸ごと消費し始めたことによって、それまで森林に蓄積されていた大量の有機物が失われた。2000 年から 2005 年までの地球上における人為的な温室効果ガス(CO₂、メタン、フロン、亜酸化窒素など)の発生原因のうち、約 17 % を森林破壊が占めたとされる(IPCC 報告)。CO₂ など、大気中の温室効果ガスの濃度上昇は地球温暖化の原因である可能性が高いと、最近報告された。現代生活を実現するためにすでに多くの森林が切り開かれており、そこに蓄積されていた有機物に含まれていた炭素のほとんどが大気中に CO₂ として放出された。つまり、人間が地球の「炭素貯蔵庫」である森林を破壊したことによって地球上の炭素循環が変化し、温暖化が進んだと考えることもできる。

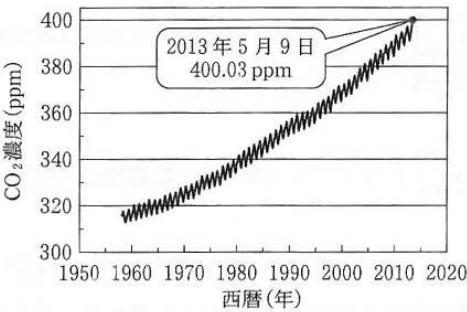


図 1

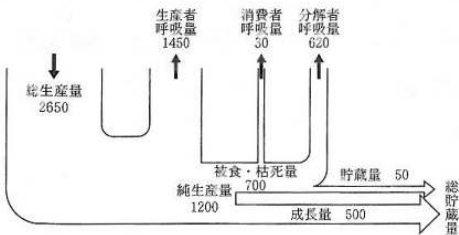


図 2：北アメリカの森林における 1 年あたりの有機物移動量(g/m²)

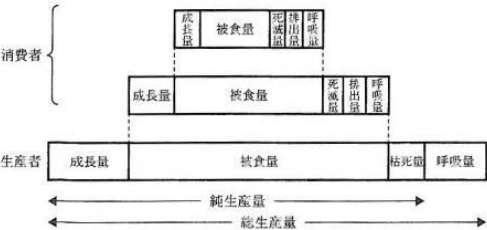


図 3

問 1 空欄 ～ にあてはまる最も適切な語句を以下から選んで
解答欄に記入しなさい。

環境汚染 ブドウ糖 セルロース 窒素
化石燃料の大量消費 アミラーゼ 原子力発電
オゾン層の破壊 酸素 デンプン

問 2 図 1 では、CO₂ 濃度が上昇と低下を繰り返し、毎年 5 月頃に最大となる。
その理由を 80 字以内で説明しなさい。

問 3 空欄 ～ にあてはまる最も適切な語句を図 2 および図 3
から選んで解答欄に記入しなさい。

問 4 空欄 にあてはまる最も適切な語句を解答欄に記入しなさい。

問 5 森林を伐採して木材を搬出した後、再植林せずに伐採地を放置した場合、図
2 の有機物の移動量は伐採前と比べてどうなるか。以下の(1)～(4)それぞれにつ
いて、「増加する」「減少する」「変化しない」のうち予測されるものを一つ選んで
解答欄に記入しなさい。ただし、枝や葉など、木材以外の植物体は現地に放置
されたものとする。

- (1) 純生産量
- (2) 成長量
- (3) 分解者呼吸量
- (4) 総貯蔵量