

# 理 科

〈監督者の指示があるまで開いてはいけない〉

1. 出願時に選択した2科目について、解答を別紙の解答用紙に記入しなさい。
2. 選択していない科目の解答用紙は問題配布後に回収します。
3. 試験開始後、まず解答用紙に自分の受験番号と氏名を正しく記入しなさい。
4. 試験開始後、速やかに問題冊子に落丁や乱丁がないか確認しなさい。  
落丁や乱丁があった場合は、手を挙げなさい。
5. 下書きや計算は問題冊子の余白を利用しなさい。
6. 記入中でない解答用紙は必ず裏返しにしておきなさい。
7. 問題冊子は試験終了後、持ち帰ってもよい。  
ただし、試験途中では持ち出してはいけない。

## 問 題 目 次

物 理	1	～	7	ページ
化 学	8	～	17	ページ
生 物	19	～	28	ページ

## 生 物

### 1. 酸素を運搬する細胞とタンパク質に関する各問いに答えよ。

脊椎動物において、血液の有形成分である赤血球は、呼吸器から全身の組織へ酸素を運搬する。ヒトでは血液の体積の約45%を有形成分が占めるが、その大部分は赤血球であり、血液1 mLあたりの赤血球数は $5 \times 10^9$ 個程度に保たれている。古くなった赤血球は  や肝臓で壊され、平均寿命は120日であるため、血液量4.8 Lの成人では1日あたり平均約  個の赤血球をつくる必要がある。この過程はエリスロポエチンというホルモンによって促進される。すなわち、成人では、血液の酸素濃度の低下に応答して、腎臓内の特定の細胞からエリスロポエチンが分泌され、未分化な前駆細胞に作用して赤血球への分化が促される。一方、ヒトの胎児では、肝細胞がエリスロポエチンを産生して赤血球の生産に関与するが、出生後この機能は低下していく。

赤血球の細胞内で実際に酸素と可逆的に結合する物質がヘモグロビンであり、1つの赤血球には約 $2.5 \times 10^8$ 個のヘモグロビン分子が存在する。成人のヘモグロビン1分子は、 個の $\alpha$ グロビン( $\alpha$ 鎖)と 個の $\beta$ グロビン( $\beta$ 鎖)が集合した構造からなる。各々の分子の内部には1分子の酸素が可逆的に結合する化合物を保持している。この化合物に酸素が結合したヘモグロビンを酸素ヘモグロビンとよぶ。ヘモグロビンと酸素の結合および解離は、周囲の酸素濃度によって変化する。組織・器官によっては、ヘモグロビンから解離した酸素を別のタンパク質が受け取ることもある。例えば、ヒトの胎児では、 $\beta$ グロビンと類似しているが部分的に異なる構造をもつ $\gamma$ グロビンが発現しており、 個の $\alpha$ グロビンと 個の $\gamma$ グロビンが集合した胎児型ヘモグロビンが胎盤で母親のヘモグロビンから酸素を受け取り、胎児の各組織に供給する。筋組織で発現しているミオグロビンもヘモグロビンから酸素を受け取るタンパク質である。

ヒトの $\alpha$ グロビン、 $\beta$ グロビン、 $\gamma$ グロビンは、それぞれ別々の遺伝子の発現によってつくられ、 $\alpha$ グロビン遺伝子は第16番染色体、 $\beta$ グロビン遺伝子と $\gamma$ グロビン遺伝子は第11番染色体に存在する。各遺伝子の「転写開始点から転写終結点までの転写領域」のサイズは、 $\alpha$ グロビンでは842塩基対(図1)、 $\beta$ グロビンでは1606塩基対、 $\gamma$ グロビンでは1572塩基対と報告されている。これらの遺伝子のエクソン・イントロン構造には類似した点があり、例えば、どの遺伝子にも2つのイントロンが存在する。また、それぞれの遺伝子に由来するmRNAの両末端には、翻訳されない部分(非翻訳領域)がある。翻訳直後の $\alpha$ グロビンは142個、 $\beta$ グロビンと $\gamma$ グロビンは147個のアミノ酸が連結したポリペプチドであるが、その後、アミノ基をもつ末端のアミノ酸が切り離され、 $\alpha$ グロビンは141個、 $\beta$ グロビンと $\gamma$ グロビンは146個のアミノ酸が連結したタンパク質として完成し、成人型および胎児型のヘモグロビンを構成する。

5' -

1 ACTCTTCTGG TCCCCACAGA CTCAGAGAGA ACCCACCATG GTGCTGTCTC CTGCCGACAA  
61 GACCAACGTC AAGGCCGCCT GGGGTAAGGT CGGCGCGCAC GCTGGCGAGT ATGGTGCGGA  
121 GGCCCTGGAG AGGTGAGGCT CCCTCCCCTG CTCCGACCCG GGCTCCTCGC CCGCCCGGAC  
181 CCACAGGCCA CCCTCAACCG TCCTGGCCCC GGACCCAAAC CCCACCCCTC ACTCTGCTTC  
241 TCCCCGAGG ATGTTCTGT CTTCCCCAC CACCAAGACC TACTTCCCGC ACTTCGACCT  
301 GAGCCACGGC TCTGCCAGG TTAAGGGCCA CGGCAAGAAG GTGGCCGACG CGCTGACCAA  
361 CGCCGTGGCG CACGTGGACG ACATGCCCAA CGCGCTGTCC GCCCTGAGCG ACCTGCACGC  
421 GCACAAGCTT CGGGTGGACC CGGTCAACTT CAAGGTGAGC GGCGGGCCGG GAGCGATCTG  
481 GGTGAGGGG CGAGATGGCG CTTTCTCGC AGGGCAGAGG ATCACGCGGG TTGCGGGAGG  
541 TGTAGCGCAG GCGGCGGCTG CGGACCTGGG CCCTCGGCC CACTGACCCT CTTCTCTGCA  
601 CAGCTCCTAA GCCACTGCCT GCTGGTGACC CTGGCCGCC ACCTCCCCGC CGAGTTCACC  
661 CCTGCGGTGC ACGCTCCCTT GGACAAGTTC CTGGCTTCTG TGAGCACCGT GCTGACCTCC  
721 AAATACCGTT AAGCTGGAGC CTCGGTGGCC ATGCTTCTTG CCCCTTGGGC CTCCCCCAG  
781 CCCCTCTCC CTTCTCTGCA CCCGTACCC CGTGGTCTTT GAATAAAGTC TGAGTGGGCG  
841 GC

※注意

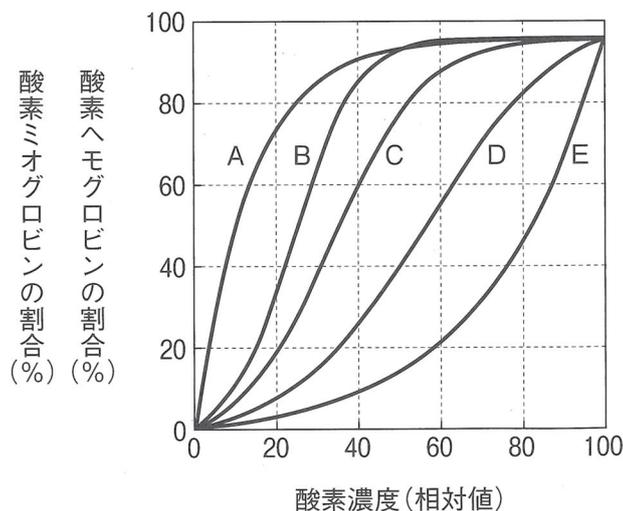
DNA 2 本鎖の中で、センス鎖（アミノ酸配列をコードする領域においてその塩基配列から遺伝暗号が解読できるヌクレオチド鎖）の塩基配列を示した。配列は 10 塩基ごとに空白で区切り、60 塩基単位で改行している。左端の数字は 5' 末端からの塩基の数を示している。

図 1

		2 番目の塩基						
		U	C	A	G			
1 番目の塩基	U	UUU } フェニルアラニン	UCU } セリン	UAU } チロシン	UGU } システイン	U	3 番目の塩基	
		UUC }	UCC }	UAC }	UGC }	C		
		UUA }	UCA }	UAA } (終止)	UGA (終止)	A		
		UUG }	UCG }	UAG } (終止)	UGG トリプトファン	G		
		C	CUU } ロイシン	CCU }	CAU } ヒスチジン	CGU }		U
			CUC }	CCC }	CAC }	CGC } アルギニン		C
	CUA }		CCA }	CAA }	CGA }	A		
	CUG }		CCG }	CAG }	CGG }	G		
	A	AUU }	ACU }	AAU }	AGU }	U		
		AUC } }	ACC }	AAC }	AGC }	C		
		AUA } }	ACA }	AAA }	AGA }	A		
		AUG } メチオニン(開始)	ACG }	AAG }	AGG }	G		
	G	GUU }	GCU }	GAU }	GGU }	U		
		GUC } }	GCC }	GAC }	GGC }	C		
		GUA } }	GCA }	GAA }	GGA }	A		
		GUG } }	GCG }	GAG }	GGG }	G		

図 2

- 問 1. アの  に入る適切な語句とイ～エの  に入る適切な数字を答えよ。
- 問 2. 血液中で有形成分が占める体積の割合(下線部①)をヘマトクリット値とよぶ。健康な成人が夏季の昼間に運動したところ、この数値が上昇した。理由を答えよ。
- 問 3. 下線部②の現象において、エリスロポエチン受容体をもつ細胞は、人体のどこに存在するか答えよ。
- 問 4. 下線部②, ③のように、ヒトにおいてエリスロポエチンを産生するおもな器官は、出生前後で肝臓から腎臓へと変化する。生後、流入する血液の酸素濃度の変化に応じて赤血球の生産を調節するには、肝臓よりも腎臓でエリスロポエチンを産生の方が合理的である。その理由を述べよ。
- 問 5. ヒトは激しい運動時に毎分 2L の酸素を必要とする。これだけの酸素を供給するには、心臓は少なくとも毎分何回拍動しなければならないか答えよ。ただし、肺においてヘモグロビン分子に最大量の酸素が結合し、運搬先ですべて利用されるものとする。また、1 回の拍動で心臓から 70 mL の血液が拍出し、室温下での  $6 \times 10^{23}$  個の酸素分子の体積を 24 L とする。
- 問 6. ヘモグロビンおよびミオグロビンは、周囲の酸素濃度に依存して酸素と結合するため、結合型の割合の変化を酸素解離曲線で示すことができる。下図の A～E のグラフから、成人型ヘモグロビン、胎児型ヘモグロビン、ミオグロビンの酸素解離曲線に該当するものを選び、順に解答欄 I, II, III に記号で答えよ。ただし、横軸の数値の 100 は肺、40 は休息時の組織、30 は胎盤、10 は運動時の筋組織における酸素濃度に相当する。また、分析には二酸化炭素濃度の低い生理的塩類溶液を用い、酸素濃度以外の条件を同一にした。



- 問 7. 図 1 および図 2 の情報にもとづいて、ヒトの  $\alpha$  グロビン mRNA の「5 側の非翻訳領域」と「3 側の非翻訳領域」のサイズ(塩基対の数)を求め、前者は解答欄 I に、後者は解答欄 II に答えよ。なお、後者のサイズは 25 ~ 120 塩基対の範囲内にある。

問 8. 遺伝子を構成する複数のエクソンとイントロンは、それぞれを区別するため、転写時の順番にしたがって、エクソン(またはイントロン)1, 2...と番号付けしてよばれる。そのため、ヒトの各グロビン遺伝子には、エクソン1~3とイントロン1, 2が存在する。ヒトの $\alpha$ グロビン遺伝子(図1)において、エクソン1, 2, 3はそれぞれアミノ酸32個分, 68個分, 42個分のアミノ酸配列を指定する。また、イントロン2のサイズは149塩基対である。図2を利用して、エクソン1とエクソン2が指定するアミノ酸配列のC末端のアミノ酸の種類を順に解答欄Iと解答欄IIに答えよ。

*Windom*

2. 体内環境の維持のしくみに関する各問いに答えよ。

腎臓は血しょうから不要な老廃物を取り除いて排出し、再吸収する水分や塩分などの量を調節することによって体内環境を一定に保つ重要な働きをしている。

図1はヒトのネフロンと集合管の模式図であり、細尿管と集合管を①～⑥の部位に分けて示している。腎臓は皮質と髄質に区分され、髄質の皮質に近い部分を髄質外層、腎う側を髄質内層という。図2と図3の各グラフの横軸の①～⑥の区域は、図1の①～⑥の各部位に相当する。図2は通常の食事と水分を摂取している場合の、細尿管と集合管の管内に残留しているa～dの各物質の総量(原尿中の量を1とした相対量)の変化を部位①～⑥にそって示している。a～dは血しょうから過された物質であり、aは窒素を含まない化合物、bはイオン、cとdは窒素を含む化合物である。横軸の下の数値はその部位の管内液のpHである。図3のグラフは、水の摂取を制限した場合(実線)と大量に水を摂取した場合(破線)の細尿管と集合管の中を流れる管内液の浸透圧(原尿の浸透圧を1とした相対値)の変化を部位①～⑥にそって示したものである。

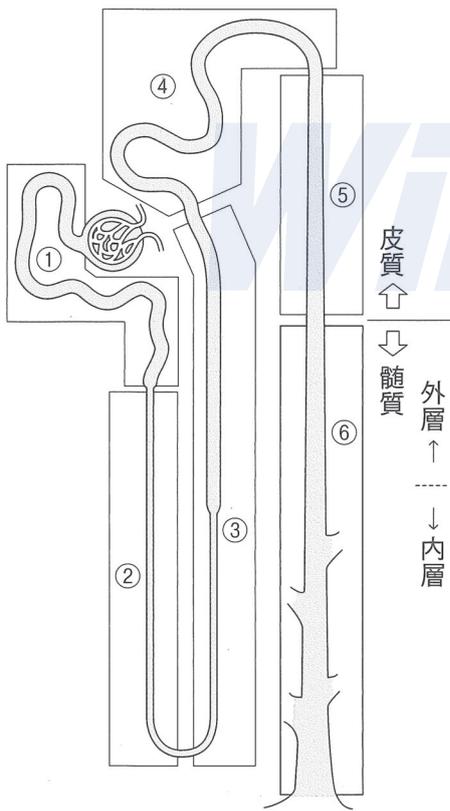


図1

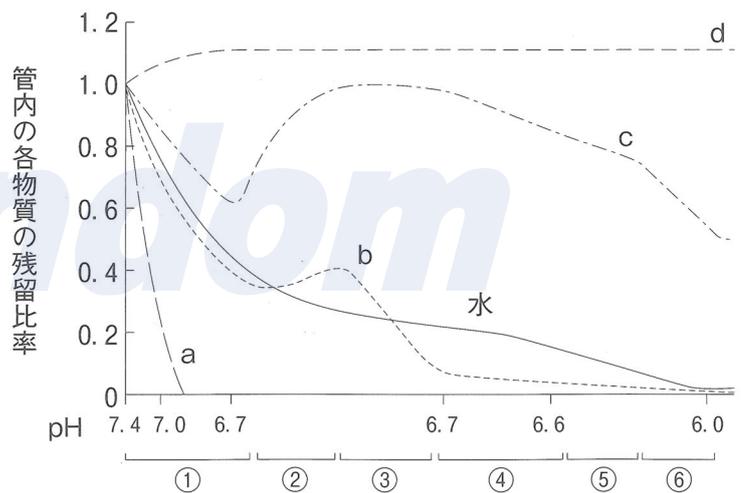


図2

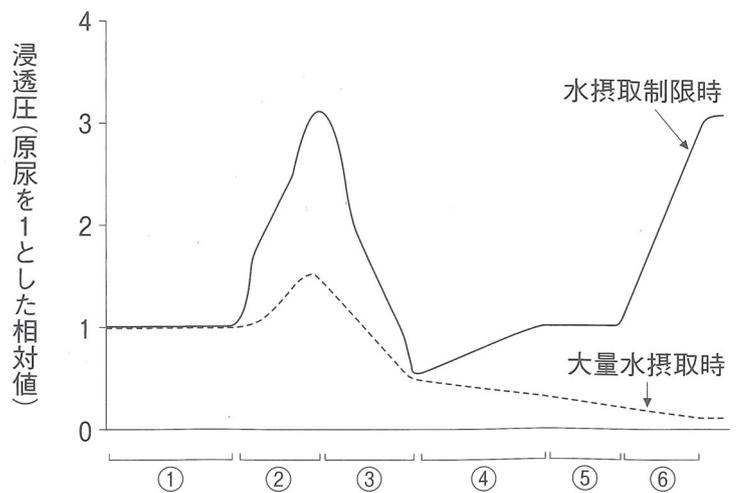


図3

出典

図2は医科生理学展望 原書17版(丸善株式会社, 1996年), 図38・15より改変し、一部の数値は標準生理学 第6版(医学書院, 2005年), 図12-56をもとに構成。図1と図3はポロンブルペーパー生理学(西村書店, 2011年), 図37-1より改変。

問 1. 図 2 の a の物質名を答えよ。

問 2. 図 2 の d は部位①でわずかに細尿管内に分泌されるが、その後ほとんど再吸収されない。d の物質名を解答欄 I に答えよ。d の血しょう中の濃度が 0.0075 mg/mL、尿中の濃度が 1.0 mg/mL であったとき、24 時間で 1296 mL の尿が採取できた。d がろ過後に再吸収も分泌もされないと仮定して、1 分間に糸球体をろ過されて生成される原尿の量 (mL) を計算し、解答欄 II に答えよ。

問 3. 以下の(1)~(4)の問いにもっともあてはまる部位を①~⑥から 1 つ選んで答えよ。

- (1) おもに水のみが再吸収されるのはどの部位か。
- (2) バソプレシンの作用によって水の再吸収率をもっとも大きく変化するのはどの部位か。
- (3) イオンの輸送とそれに伴う水の再吸収をもっとも活発に行われているのはどの部位か。
- (4) 水よりも b を再吸収させやすい性質があると考えられるのはどの部位か。

問 4. 問 3 の(4)の記述にあるような細胞膜の性質を何というか答えよ。

問 5. ②、③および⑥の部位において、水の再吸収が起きるには、腎臓髄質の腎う側の環境としてどのような条件が必要と考えられるか解答欄 I に述べよ。また、その水の移動に関与するタンパク質の名称を解答欄 II に答えよ。

問 6. 原尿中の濃度をもっとも高いのは a~d のどれか。記号とその名称を答えよ。

問 7. 尿中の濃度をもっとも高くなるのは a~d のどれか。記号とその名称を答えよ。

問 8. 血しょう中の塩分組成や浸透圧以外に、腎臓がその恒常性の維持に関与していると考えられる体内環境は何か、解答欄 I に答えよ。また、その体内環境の維持に関与する物質を大量かつ速やかに排出している腎臓以外の器官の名称を解答欄 II に答えよ。

3. 多種共存に関する各問いに答えよ。

I. 自然界では多くの種が同じ生息場所に共存している。相互作用をもちながらある一定の場所に生活している異種の個体群の集まりは生物群集とよばれる。多様な種が同じ生息場所に共存するしくみには、①ニッチの分割のほかに捕食者の存在や外部からの要因などが関与する。

満潮時の水位と干潮時の水位の間の海岸領域を潮間帯とよぶ。北アメリカのある潮間帯の岩礁(岩場)にはヒトデや藻類を含む15種の生物が生息している。下表はヒトデが捕食する生物を属(A～F)ごとにまとめたものである。この岩礁生態系には複雑な食物網が成立しており、ヒトデは藻類以外の生物を捕食している。また、固着生物の中ではEの数が一番多かった。この生態系からヒトデを継続的に除去する実験を行った。その結果、実験開始後3か月目にはEが岩礁の大部分を占め、②AとBが減少した。1年後にはEにかわってDが岩場をほぼ独占するようになり、CとEはところどころに散在する程度になった。また、生物種の数も8種にまで減少した。

生物の種類(属)	A	B	C	D	E	F
ヒトデが捕食した各生物の個体数の割合	3%	5%	1%以下	27%	63%	1%
おもな餌	岩に生える藻類		D, E	プランクトン		
生活様式	移動性			固着性		

問 1. 下線部①のニッチの分割とはどのようなことか、具体例を1つあげて説明せよ。

問 2. ヒトデに関する次の文章のうち正しいものをすべて選び、記号で答えよ。

- ア. 脊索をもつ。
- イ. 旧口動物である。
- ウ. ナマコと同じ動物門に属する。
- エ. 成体のからだは放射相称である。
- オ. 幼生はトロコフォアとよばれる。

問 3. 次の文章のア～ウの  に入る適切な語句を答えよ。

A～Dは  ア  動物門に属し、内臓などをおおう  イ  から石灰質を分泌して貝殻をつくる。

また、EとFは  ウ  動物門に属し、はしご形神経系をもつ。この動物門は含まれる種数をもっとも多い。

問 4. 下線部②でAとBの数が減少した理由を述べよ。

問 5. 次の文章のうち正しい記述をすべて選び、記号で答えよ。

- ア. ヒトデとDの関係は相利共生とよばれる。
- イ. 競争力の強い生物ほどヒトデに捕食される。
- ウ. ヒトデは岩礁生態系における上位の捕食者である。
- エ. 実験前の岩礁生態系ではヒトデの個体数がもっとも多い。
- オ. ヒトデによる捕食は藻類の生存に間接的に影響をおよぼす。

問 6. 次の文章のア～ウの  に入る適切な語句を答えよ。

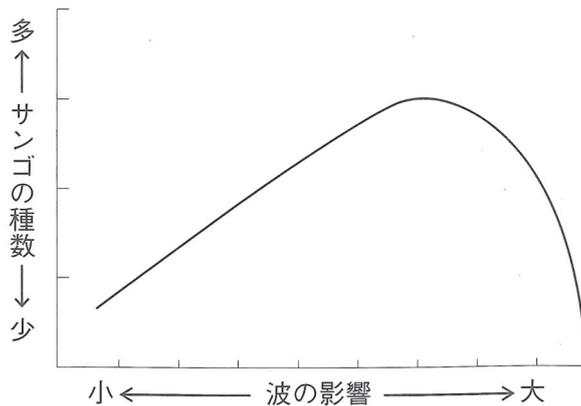
ヒトデがいると、競争に強い種の  ア  があまり高くないため、 イ  排除が起こりにくくなる。その結果、岩礁生態系における種の多様性が維持される。このように生態系のバランスを保つ重要な役割を果たしている生物を  ウ  とよぶ。

II. 多種共存には外部からの要因が関与することがある。台風や山火事のような生物群集や生態系に大きな影響を与える現象を  とよぶ。

オーストラリアのあるサンゴ礁において、台風などによる波の影響の程度とそこに生息するサンゴの種数の関係を調査した。サンゴ礁では強い波の影響を受けやすい場所では生きたサンゴの被度が低く、波の影響を受けにくい場所では生きたサンゴの被度が高くなるので波による影響の程度を生きたサンゴの被度で評価することができる。

問 7.  に入る適切な語句を答えよ。

問 8. 下のグラフは、下線部の調査結果である。波の影響の小さい場所でも大きな場所でもサンゴの種数が少ない理由を答えよ。



4. 植物の生活と光に関する各問いに答えよ。

I. 緑色植物において光合成は葉緑体で行われる。光合成の最初の反応(光化学系Ⅱ)は、葉緑体中の  膜に存在する  がおもに赤色光(波長 680 nm 付近)を吸収することで始まる。この反応系では、光合成色素がタンパク質と複合体を形成し、光エネルギーによって水分子から電子を奪う。その結果、酸素と  が発生し、 の外に  を排出することで ATP を合成する。緑色植物の場合と同様に、 生物のシアノバクテリアにも  は存在し、水を分解して酸素を発生させる。一方、エネルギーとして使用する光は、強すぎると逆に光合成の阻害になる。緑色植物の細胞では、この阻害から葉緑体を守るために、強光下で葉緑体が光を避けるように移動する(葉緑体定位運動)が、その際の光受容体は青色光(波長 450 nm 付近)を受容する  である。

問 1. 文中のア～オの  に入る適切な語句を答えよ。

問 2. 緑色植物のホウレンソウの  とシアノバクテリアの  が同じ物質であることを示す実験として適切なものを次の A～E から 1 つ選び、記号で答えよ。

- A. 両者から光合成色素を抽出し、その溶液にいろいろな波長の光を当てて吸収スペクトルが両者で完全に一致することを確認する。
- B. 両者にいろいろな波長の光を当てて、光合成速度の作用スペクトルが両者で完全に一致することを確認する。
- C. 両者から光合成色素を抽出し、それらを薄層クロマトグラフィーによって展開することで、同じ移動率(Rf 値)の位置に同じ色調のスポットが現れることを確認する。
- D. 両者から葉緑体を取り出し、顕微鏡下で両者が同じ色調であることを確認する。
- E. 両者から光合成色素とタンパク質の複合体を抽出し、電気泳動法によって両者の光合成色素が同じ分子量のタンパク質と共存することを確認する。

II. 植物の栄養成長から生殖成長への転換にも光は重要であり、例えば、アサガオのような  植物では、① 日長が一定の長さ以下になると生殖器官である花芽を形成する。この花芽形成は、② 最近、実体が解明されたフロリゲン(花成ホルモン)によって誘導される。また、 植物を用いた実験では、③ 暗期の途中で光を照射して連続した暗期の長さを限界暗期以下にする(光中断)と、花芽形成は起こらなくなる。この光中断にもっとも有効な光は赤色光(波長 660 nm 付近)であり、光中断の効果はその後照射される  光(波長 730 nm 付近)によって打ち消されることから、光受容体は  である。

問 3. 文中のカ～クの  に入る適切な語句を答えよ。

問 4. 下線部①に関して、限界暗期が9時間で、日長感受性が高く、子葉一枚で日長に反応できるアサガオの一品種を用いて、次の実験を行った。

【実験】 種子が発芽した芽ばえ(幼植物)の茎頂部を取り出し、ショ糖を含む培地で培養した(茎頂培養の開始)。その後、短日条件(8時間明期/16時間暗期)あるいは長日条件(16時間明期/8時間暗期)で4週間培養を続け、茎葉をもつ小植物体に発達した個体ごとに花芽形成の有無を調べることで花芽形成率を求めた。その際、培養開始時に種子から育てた別の幼植物体から採取した短日師管液(A:16時間の暗期を1回与えた子葉の師管からしみ出た液)あるいは長日師管液(B:連続照明下で育てた子葉の師管からしみ出た液)を培地に添加した実験群も同様に調査し、下表の結果を得た。

アサガオの茎頂培養における花芽形成と師管液の効果

茎頂培養時の 日長条件	師管液の添加 <sup>注</sup>		花芽形成率 (%)
	短日師管液(A)	長日師管液(B)	
短日条件	—	—	100
	+	—	100
	—	+	52
長日条件	—	—	0
	+	—	82
	—	+	0

注) + 添加あり, — 添加なし

この結果から、短日師管液(A)と長日師管液(B)のそれぞれに含まれる物質の性質を推察し、各々の解答欄に20字以内で記入せよ。

問 5. 下線部②に関して、オワンクラゲの緑色蛍光タンパク質(GFP)の遺伝子を使って、フロリゲンの生成や移動経路が証明された。この手法に関して、次のA~Eの記述から正しいものをすべて選び、記号で答えよ。

- A. GFPは可視光の赤色光を当てると緑色の蛍光を発する。
- B. GFPは非可視光の紫外線を当てると緑色の蛍光を発する。
- C. GFPを用いることで、葉に存在するフロリゲン遺伝子(DNA)を可視化することができる。
- D. GFPを用いることで、葉で転写されたフロリゲンの mRNA(伝令 RNA)を可視化することができる。
- E. GFPを用いることで、葉で翻訳されたフロリゲンを可視化することができる。

問 6. 下線部③に関して、光中断のしくみを100字以内で説明せよ。