

令和 2 年度 医学部 入学試験 問題冊子

物 理

化 学

生 物

1 月 2 1 日 ( 火 ) 9 : 3 0 ~ 1 1 : 1 0

注 意 事 項

1. 開始の指示があるまでは、この冊子を開いてはいけない。
2. この問題冊子は表紙 1 枚、草稿用紙 1 枚、物理問題用紙 3 枚、化学問題用紙 3 枚、生物問題用紙 7 枚の計 1 5 枚である。
3. 乱丁、落丁、印刷不鮮明の箇所があれば、直ちに申し出なさい。
4. 物理、化学、生物の 3 科目のうち、2 科目を選択して解答しなさい。
5. 解答はすべて答案用紙の所定の位置に記入しなさい。
6. この冊子の余白は草稿用に使用してもよい。
7. 試験室内で配付されたものは、一切持ち帰ってはいけない。
8. 終了時刻まで、退出してはいけない。

# 生

## 生物

### 生物 問題 I

次の【A】と【B】の文章を読み、下の間に答えよ。

【A】 ヒトの肝臓は、①数十万個の肝細胞が配列してできる六角柱状の構造 (大きさ1~2mm程度) の集合体でつくられ、肝細胞と血液の間で物質のやり取りが行われている。

図1は肝臓における物質の流入出を模式的に示している。食事によって摂取した食物は、器官AからXに分泌される消化酵素などによって分解される。分解によって得られた栄養素は小腸から吸収されたのち、Yを経て肝臓に集められて再分配される。また、赤血球は器官Bで分解されて、その後Yから肝臓に入りさらに分解される。②肝臓における分解物はXに放出され、便とともに体外に排出される。このような図1に示される肝臓とそれをとりまく器官との物質の流れは、③消化・吸収された物質から有害な物質を効率よく取り除くのに都合が良い。

血しょう中に含まれるタンパク質の多くは肝臓に由来する。血しょうタンパク質の60~70%を占めるアルブミンは一定の濃度で維持されており、血液中で様々な物質を運搬する役割に加えて、血液の浸透圧の形成にも重要な役割を担っている。④肝臓の機能が何らかの理由で障害を受けてアルブミンが十分に合成されないと、組織液の量が増えて脚などにむくみが生じることがある。また、血液凝固を担うタンパク質の多くも肝臓で合成されている。⑤そのうちの一つであるプロトロンビンは、血液凝固因子などによりトロンビンに変換され、次に続く血液凝固の反応が進む。

問1. 下線部①の構造の名称を記せ。

問2. 図1のXとY, および、器官AとB, それぞれの名称を記せ。

問3. 下線部②の体外に排出されるヘモグロビンの分解物の名称を記せ。

問4. 下線部③について、有害な物質を取り除くのに都合の良いしくみを、図1の構造をふまえて簡潔に説明せよ。

問5. 下線部④について、肝臓の機能の低下で組織液の量が増える理由を、次の4つの用語をすべて用いて説明せよ。

[用語] 水 ・ 浸透圧 ・ 血しょう ・ アルブミン

問6. 下線部⑤に記された血液凝固のしくみを図2に示す。

(i) (あ) ~ (う) に当てはまる適切な語句をそれぞれ記せ。

(ii) 血液凝固因子をつくるZの名称を記せ。

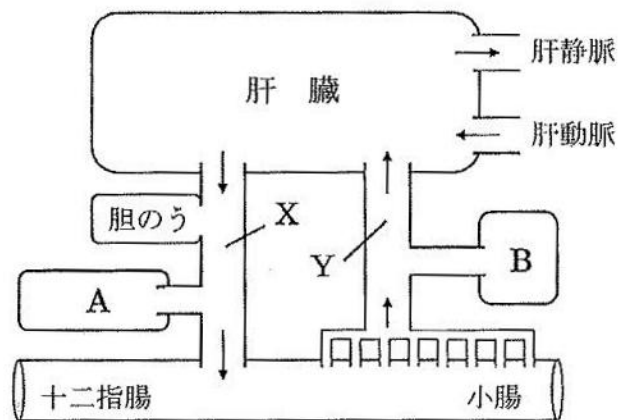


図1 肝臓における血液と組織液の流入出

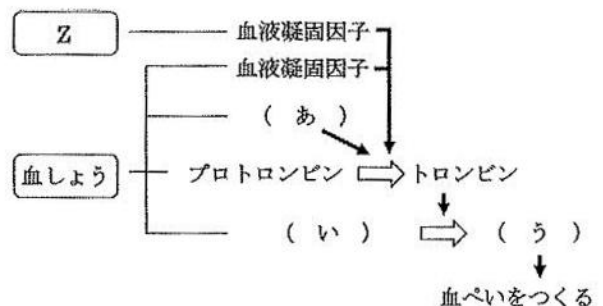


図2 血液凝固のしくみ

【B】 肝臓の重要なはたらきの1つが、血液中のグルコース濃度（血糖濃度）の調節である。空腹時の血糖濃度は血液 100mL 中に 80~100mg で維持されている。食事をして糖質を摂取すると血糖濃度は一時的に上昇して高い値を示すが、やがて正常な範囲にもどる。血糖濃度を一定に保つことは生命活動にとって必須である。そのため、肝臓は内分泌系や自律神経系の調節を受けて、適切な血糖濃度の維持にはたらいっている。空腹時や絶食飢餓時など低血糖状態において、⑥血糖濃度を高めるためのしくみが幾重にも備わっている（図3）。一方、血糖濃度を低下させる内分泌調節はインスリンの作用のみである。⑦インスリンを分泌する内分泌腺は複数の細胞種で構成されている（図4）。インスリンはグルコースの細胞内への取り込みや代謝を促進し、血糖濃度を低下させる。⑧糖尿病では、血糖濃度が高い状態が継続して、血管などへ悪影響を及ぼして様々な合併症へとつながる。

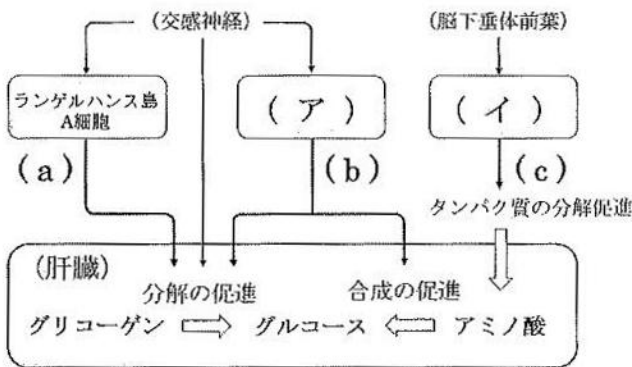


図3 肝臓の機能を調節して血糖濃度を高めるしくみ

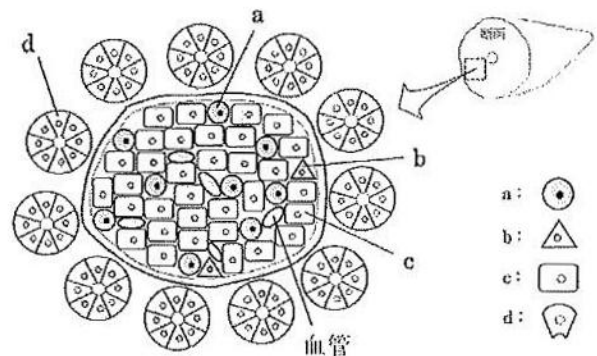


図4 インスリンを分泌する内分泌腺（模式図）

問7. 下線部⑥について、図3の(a)～(c)に当てはまるホルモンと、分泌する器官(ア)と(イ)の名称をそれぞれ記せ。

問8. 下線部⑦について、図4においてインスリンを分泌する細胞は a～dのうちどれか、理由とともに記号を記せ。

問9. 下線部⑧について、3人のヒト被験者(1)～(3)を対象に次のような試験をおこなった。12時間の絶食後に75gのグルコースを含む飲料を摂取してもらい、0分(摂取直前)、30分、60分、120分後に採血をおこなって、血糖濃度とインスリン濃度をそれぞれ測定したところ、図5の結果を得た。そして、図6に従って被験者3人を3つの型に分類した。

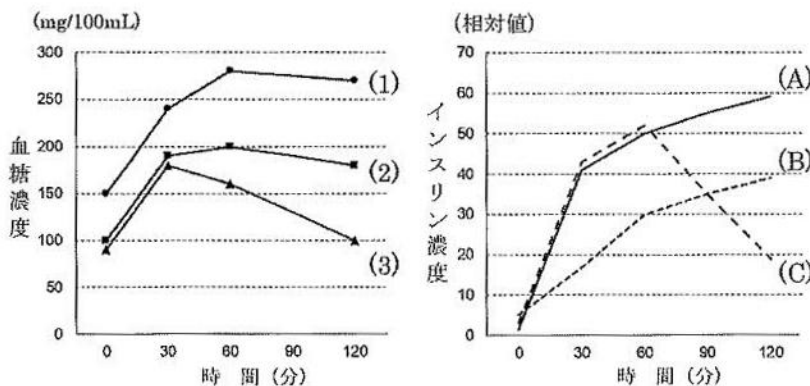


図5 グルコース飲料摂取後の血糖濃度とインスリン濃度の変化

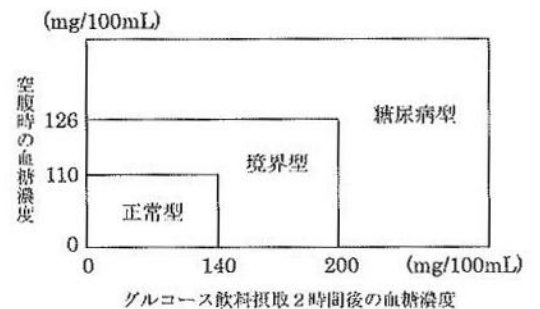


図6 血糖濃度にもとづく分類

- (i) (1) から (3) の3人の被験者はそれぞれ図6のどの型にあてはまるか、それぞれ型名を記せ。
- (ii) (1) から (3) の3人の被験者それぞれの血液インスリン濃度の変化を示すものは、図5の(A)～(C)のどれか、それぞれ記号を記せ。

# 生

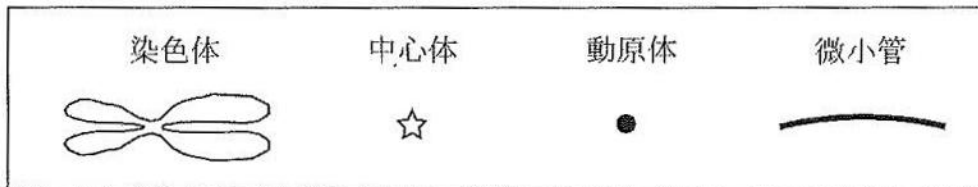
## 生物

### 生物 問題 II

次の文章を読み、下の問に答えよ。

細胞は、間期における DNA 複製と、分裂期における DNA の分配を周期的に繰り返す。この周期のことを細胞周期という。細胞周期は、 $G_1$  期 (DNA 合成準備期)、S 期 (DNA 合成期)、 $G_2$  期 (分裂準備期)、 $M$  期 (分裂期) に分けられる。細胞周期に要する時間は、生物または細胞の種類によりさまざまである。ヒトの腫瘍組織から分離したがん細胞は、培養シャーレの中で盛んに増殖し、細胞周期の観察に適している。なお、以下の実験に用いたがん細胞は、すべて細胞周期を同じ速度でまわり続けるものとする。さらに、細胞分裂はランダムにおこり、がん細胞は細胞周期に一様に分布しているとする。

問 1. 下線部①について、体細胞分裂の M 期 (分裂期) は、さらに前期、中期、後期、終期に分けられる。染色体構成が  $2n=4$  の動物細胞を仮定し、この細胞における M 期中期の様子を図示せよ。なお、染色体・中心体・動原体・微小管については下記の模式例を用いて、場所や構成を細胞内に明確に記すこと。

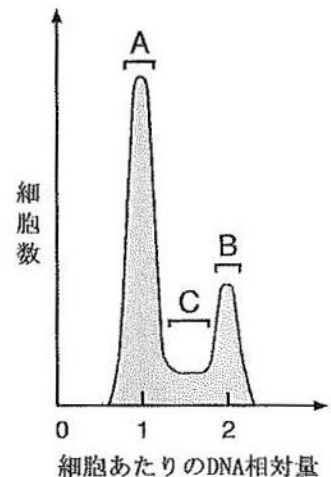


問 2. 1 個のがん細胞の重さを 1 ng とすると、1 個のがん細胞が細胞分裂を重ねて、その総量が 1 g に達するまでに、およそ何回の細胞分裂が必要か。下記の (ア) ~ (オ) から一つ選び記号を記せ。なお、すべてのがん細胞の 1 個あたりの重さは一定とする。

- (ア) 10 回      (イ) 20 回      (ウ) 30 回      (エ) 40 回      (オ) 50 回

#### 【実験 1】

ある肺がん患者の組織から得られたがん細胞 X を培養シャーレから取り出し、DNA と結合した時に蛍光を発するヨウ化プロピジウムで染色した。染色された細胞が発する蛍光の強さは、細胞に含まれる DNA 量に比例する。各細胞が発する蛍光の強さを測定した結果、右のグラフを得た。細胞あたりの DNA 量が、細胞周期の中で最も少なくなった時の DNA 相対量を 1 とする。

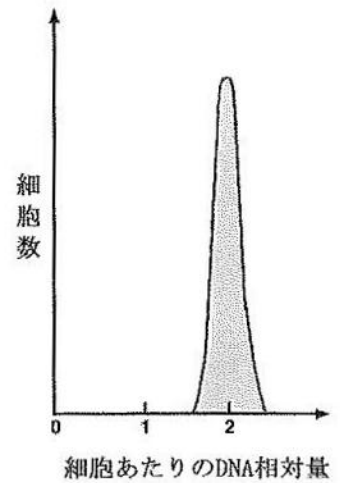


問 3.  $G_1$  期、S 期、 $G_2$  期、M 期それぞれの細胞は、グラフの A、B、C のどこにも含まれるか。A、B、C のそれぞれにあてはまる時期をすべて記せ。

### 【実験2】

このがん細胞 X の細胞周期は 24 時間であった。がん細胞 X の培養液中に、抗がん剤であるビンブラスチンを 24 時間以上に加え、その後、ヨウ化プロピジウムで染色した。各細胞が発する蛍光の強さを測定した結果、右のグラフを得た。

問 4. ビンブラスチンはチューブリンに結合することがわかっている。ビンブラスチンはどのようにしてがん細胞の増殖を防ぐのか、得られた結果をもとに、そのメカニズムを簡潔に記せ。

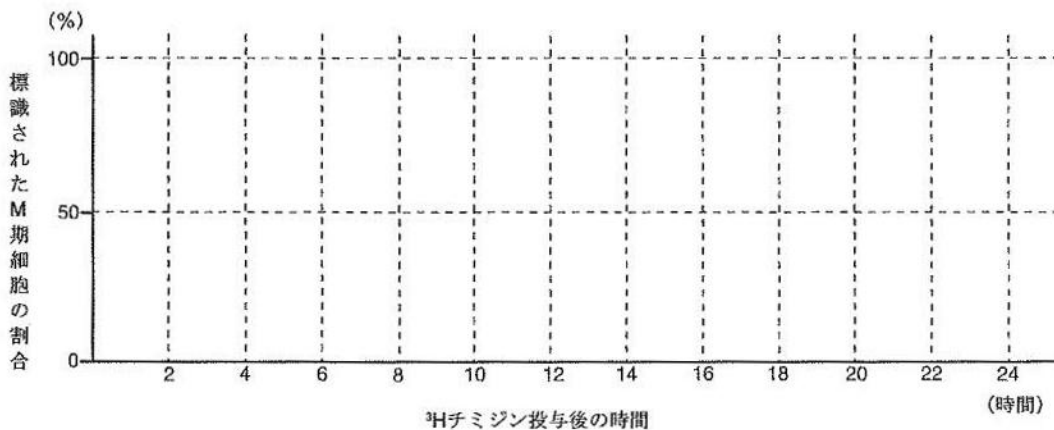


### 【実験3】

ある胃がん組織から得られたがん細胞 Y の細胞周期における G<sub>1</sub> 期、S 期、G<sub>2</sub> 期、M 期の所要時間を求めるために、以下の実験をおこなった。S 期の細胞に水素の放射性同位体 <sup>3</sup>H を含むチミジン (<sup>3</sup>H チミジン) を与えると、<sup>3</sup>H チミジンは複製中の DNA に取り込まれ、DNA を標識することができる。がん細胞 Y の培養液中に、<sup>3</sup>H チミジンを加えて DNA を短時間標識した。その後、細胞を洗浄して細胞外の <sup>3</sup>H チミジンを完全に除き、<sup>3</sup>H チミジンを含まない培養液にもどし、培養を続けた。

4 時間後から DNA が標識された M 期の細胞が観察され始め、5 時間後には M 期の細胞の 50% が標識された。その後に M 期の細胞は 100% 標識されたものになり、やがて減じて、11 時間後にはその割合は再び 50% になった。さらに培養を続けたところ、DNA が標識された M 期の細胞は全く見られなくなったが、22 時間後から再び観察されるようになった。この実験では、細胞の標識に要した時間は便宜上 0 時間とし、S 期の細胞はすべて標識されたとする。

問 5. <sup>3</sup>H チミジン投与後の時間と、DNA が標識された M 期細胞の割合との関係をグラフに示せ。



問 6. がん細胞 Y の細胞周期における G<sub>1</sub> 期、S 期、G<sub>2</sub> 期、M 期の所要時間をそれぞれ求めよ。

### 生物 問題 III

次の文章を読み、下の問に答えよ。

①心臓の構造は動物種によって異なる。哺乳類の場合、神経堤細胞が心臓の一部を形成し、心臓の発生において重要な役割を果たすことがわかっている。神経堤細胞は②神経管が形成される際に背中側にある神経堤という部位から生じる細胞で、発生過程において全身へ移動し、様々な組織の細胞へと分化する性質がある。ある細胞が発生過程でどのように移動し、どのような細胞に分化するかを調べる方法として、特定の細胞のみに蛍光タンパク質 GFP を発現させ、発生過程の動きや細胞分化の過程を観察する方法がある。

以下は、神経堤細胞に特異的に GFP を発現させるための実験方法である。

1. 神経堤細胞において特異的に発現する遺伝子 X のプロモーターをもつプラスミド Y と GFP 遺伝子をもつプラスミド Z を制限酵素で処理し、図 1 に示す配列部分で切断した。
2. プラスミド Y にプラスミド Z から切り出した GFP 遺伝子を結合させるために、それぞれの DNA 断片を混合して酵素処理を行った (図 1)。

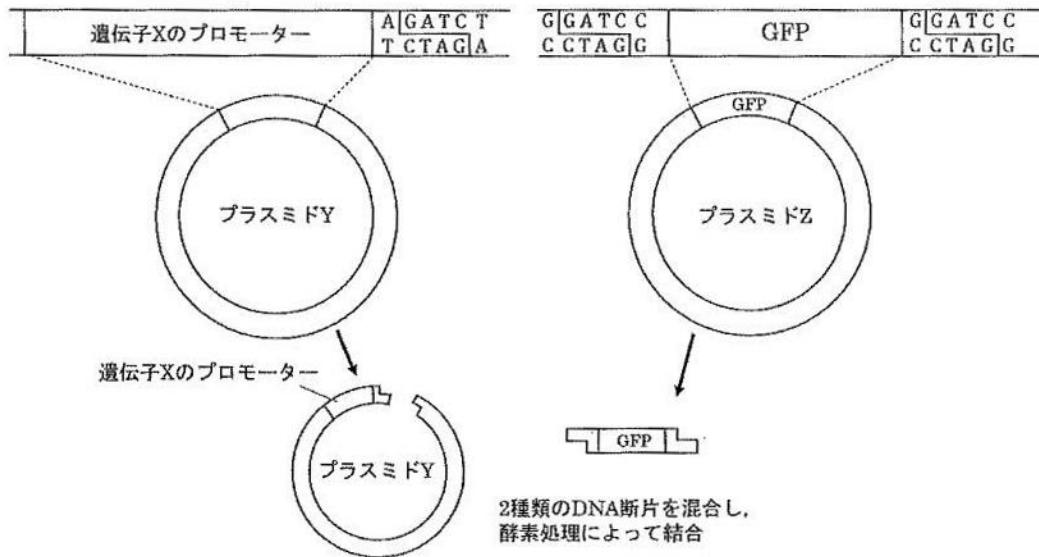


図 1 GFP 遺伝子をプラスミド Y に結合

3. 2の作業で結合させたプラスミドを大腸菌に導入して培養した。
4. 培養後、培地上に形成された複数の大腸菌コロニーからプラスミドを抽出したところ、3種類のプラスミド a, b, c が得られた。
5. この3種類のプラスミドをそれぞれ神経堤細胞に導入したところ、プラスミド a を導入した神経堤細胞では GFP の蛍光が観察されたが、プラスミド b, c を導入した神経堤細胞では GFP の蛍光が観察できなかった。
6. ③プラスミド b, c において GFP の蛍光が観察できなかった原因を調べるため、プラスミド a, b, c を用いて PCR を行った。PCR のプライマーは図 2 に示す通り、プラスミド Y と GFP 遺伝子上の配列に対して特異的なもの (4 か所) を用いた。その結果、図 3 に示す電気泳動像が得られた。また、GFP の蛍光が観察できなかった原因として、プロモーター配列や GFP 遺伝子に変異が生じている可能性が考えられる。そこで、プラスミド a, b, c における遺伝子 X のプロモーターと GFP 遺伝子の配列を④サンガー法という塩基配列解析法によって調べたが、遺伝子配列の変異は観察されなかった。

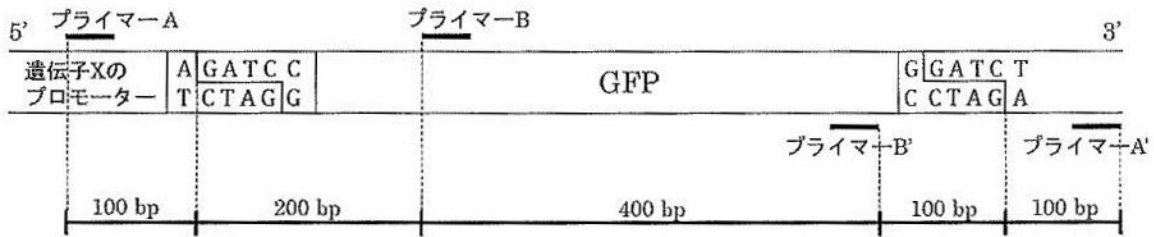


図2 プラスミド a における各プライマーの結合部位

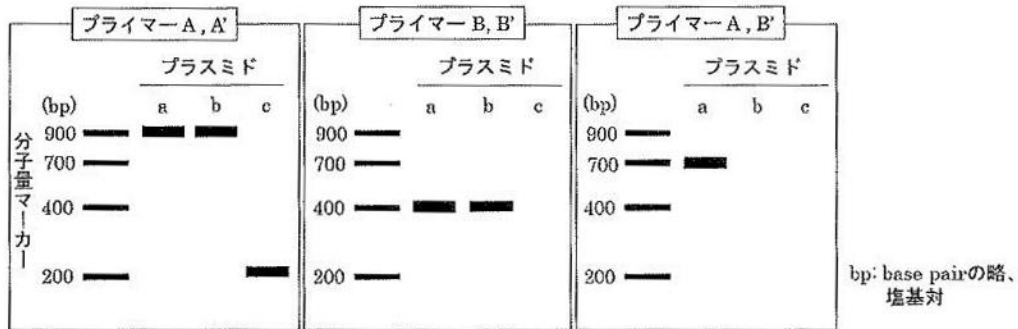


図3 図2のプライマーを用いたプラスミド a, b, c に対する PCR の結果

7. プラスミド a を用いて、図4のように遺伝子 X のプロモーターと GFP 遺伝子が結合した組換え遺伝子を受精卵内の卵母細胞の細胞核に導入し、⑥遺伝子改変マウスを作製した。この遺伝子改変マウスの発生過程を観察すると、⑥図5のように受精後 9 日目の段階では移動中の神経堤細胞で GFP の蛍光が観察できた。一方、受精後 17 日目の段階において心臓に移動してきた神経堤細胞由来の細胞では GFP の蛍光は観察できなかった。

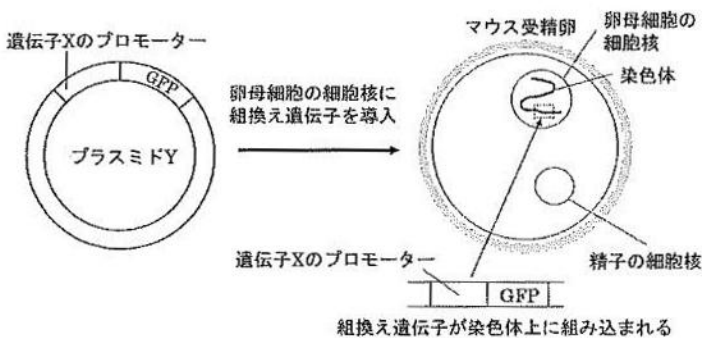


図4 遺伝子改変マウスの作製過程

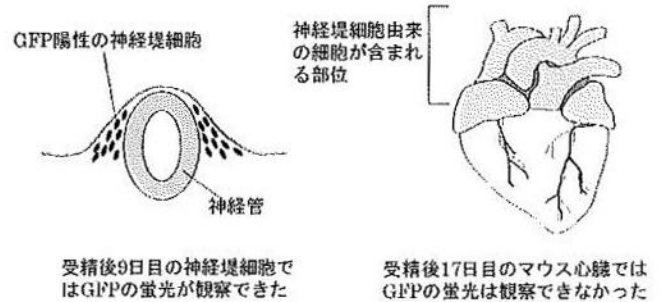


図5 発生過程において GFP の蛍光を観察した時期と部位

問1. 下線部①について、以下の間に答えよ。

(1) 以下の動物で2心房1心室の心臓をもつものを全て選び、記号を記せ。

(ア) 哺乳類 (イ) 鳥類 (ウ) 爬虫類 (エ) 両生類 (オ) 魚類

(2) 陸生動物には心臓が1心室のものと2心室のものが存在する。血液循環の観点から考えて、1心室の心臓と比べて2心室の心臓が優れている点を記せ。

# 生

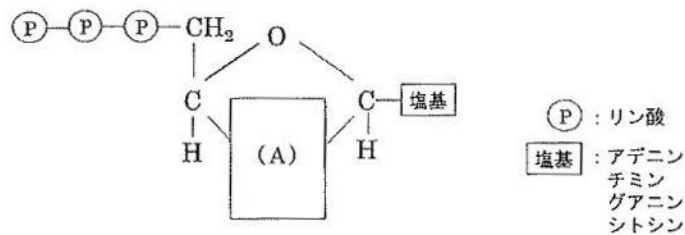
## 生物

問2. 下線部②について、神経管は内胚葉、中胚葉、外胚葉のうち、どれに由来するか記せ。また、体の中で神経管から形成される組織を次の【 】の中から3つ選べ。

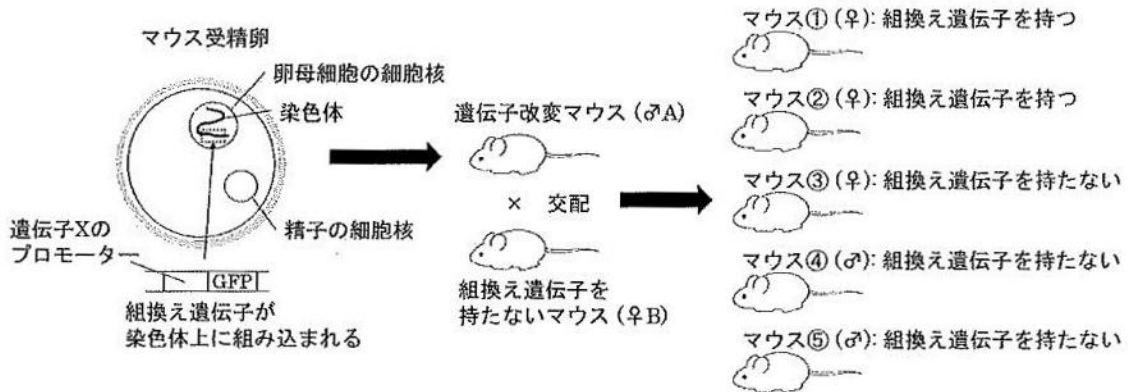
【 脳、肝臓、すい臓、腎臓、気管、消化管、脊髄、脊索、網膜 】

問3. 下線部③について、プラスミド b, c において GFP の蛍光が観察されなかったのはなぜか。図3の結果から原因を考察し、プラスミド b, c について、それぞれ原因を記せ。

問4. 下線部④について、下図はサンガー法で用いるジデオキシヌクレオシド三リン酸の構造式である。空欄 (A) に入る構造式を記せ。



問5. 下線部⑤について、図4のように受精卵内の卵母細胞の細胞核に組換え遺伝子を導入し、生まれた遺伝子改変マウス（オス：♂A）と組換え遺伝子を持たない普通のマウス（メス：♀B）を交配させたところ、下図のように5匹のマウス①～⑤（♀3匹、♂2匹）が生まれた。生まれたマウスが組換え遺伝子を持っているかどうか調べたところ、下図に示す結果が得られた。なぜ、このような結果になったと考えられるか、理由を記せ。



問6. 下線部⑥について、心臓に移動してきた神経堤細胞由来の細胞で GFP が観察できなかったのはなぜか、理由を記せ。なお、マウスの発生過程で異常は生じていないものとする。