

(2020 前)

# 理 科

	ページ
物 理	1～ 6
化 学	7～15
生 物	16～25
地 学	26～31

- ・ 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

## 物 理

I なめらかな水平面に置かれたばね振り子の運動について考える。振幅  $A$  で単振動するばね振り子のおもりの位置  $x$  は、図 1 で示されているように半径  $A$  の円周上を角速度  $\omega$  で等速円運動する点の  $x$  方向の位置に等しく、ばねが自然長のときのおもりの位置を 0 とすると、時刻  $t$  でのおもりの位置は  $x = A \sin(\omega t)$  で表される。おもりの質量を  $m$ 、ばねのばね定数を  $k$  とし、おもりの運動量を  $p$  で表す。以下の問 1～5 に答えなさい。問題の解答に必要な物理量があれば、それらを表す記号はすべて各自が定義し、解答欄に明示しなさい。(配点 25 点)

問 1 時刻  $t$  での  $p$  を表す式を導きなさい。

問 2 力学的エネルギーが保存されることを示しなさい。

問 3 おもりの振動運動により位置  $x$  と運動量  $p$  は周期的な変化を繰り返す。振動の 1 周期にわたる  $x$  と  $p$  の関係を、 $x$  を横軸、 $p$  を縦軸にとった曲線として、その概略を解答欄のグラフに描きなさい。また、グラフには運動の向きを表す矢印と、曲線と  $x$  軸および  $p$  軸の交点の座標を記しなさい。

問 4 問 3 で得られた曲線の囲む「面積」を、問題に与えられた物理量 ( $m$ ,  $k$ ,  $A$ ) を用いて表しなさい。また、この「面積」が力学的エネルギーと周期の積に等しいことを示しなさい。必要であれば、 $xy$  平面上の曲線  $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$  の囲む面積は  $\pi ab$  で表されることを用いなさい。

問 5 ばね定数が  $k' = \frac{k}{2}$  のばねを用いて質量  $m$  のおもりを振幅  $A'$  で振動させたところ、力学的エネルギーと周期の積が、ばね定数が  $k$  のときと等しくなった。このときの力学的エネルギーを  $E'$  および周期を  $T'$  とする。振幅、力学的エネルギー、および周期について、ばね定数が  $k'$  のときと  $k$  のときのそれぞれの比、 $\frac{A'}{A}$ ,  $\frac{E'}{E}$ , および  $\frac{T'}{T}$  を求めなさい。

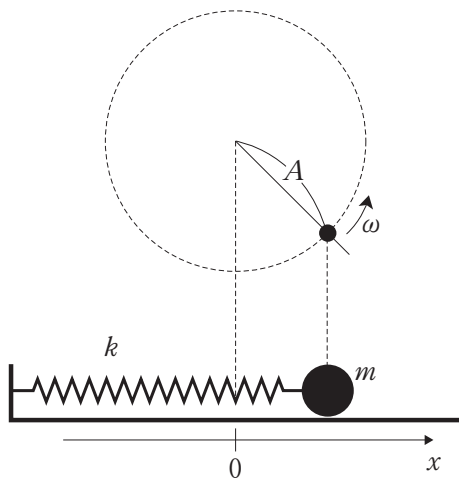


图 1

II 質量  $m$ , 電荷  $q (> 0)$  の荷電粒子の運動について以下の問 1 ~ 5 に答えなさい。  
解答欄には答えのみでなく導出過程も示しなさい。導出過程に必要な物理量があれば、それらを表す記号は全て各自が定義して使用してよいが、答えには与えられた物理量のみを用いなさい。なお、重力の影響は無視できるものとする。(配点 25 点)

問 1 この粒子を静止状態から電位差  $V_0 (< 0)$  で加速した。加速後の速さ  $v_0$  を求めなさい。

問 2 この粒子が  $xy$  平面内を速さ  $v_0$  で運動しているとき、一様な磁束密度  $B$  の磁場をかけて、 $xy$  平面内で  $z$  軸正方向から見て時計回りの円運動をさせた。かけるべき磁場の向きを解答欄の図に矢印で示しなさい。また、この円運動の周期  $T_0$  を求めなさい。

次に、図 1 のような十分に大きな D 字型の中空電極  $D_1, D_2$  を使って荷電粒子を周期的に加速することを考える。電極間には十分狭い隙間がある。荷電粒子は時刻  $t = 0$  で図 1 に示すように  $D_1$  と隙間の境界に静止しているとする。荷電粒子の運動する領域には問 2 で考えた磁場がかけられているとする。

問 3  $t = 0$  で電極  $D_1$  に対する電極  $D_2$  の電位  $V$  を  $V_0$  として粒子を加速した。粒子が  $D_2$  内を運動し、再度隙間に到達したときに  $V = -V_0$  として再度加速した。粒子が隙間を 3 回目に通過する直前までの軌跡の概略を解答欄の図に描きなさい。また、3 回目に隙間を通過する直前の粒子がもつ運動エネルギーを求めなさい。

問 4 問 3 のように、 $D_1$  から  $D_2$  へ隙間を通過する際に  $V = V_0$ 、 $D_2$  から  $D_1$  へ隙間を通過する際に  $V = -V_0$  として粒子の加速を行った。何回か加速を行った結果、運動半径が  $r$  になった。このときの運動エネルギー  $E$  を求めなさい。また、この運動エネルギー  $E$  に到達するまでに要する最短時間を求めなさい。

問 5  $q = 1.6 \times 10^{-19} [\text{C}]$ ,  $B = 1.0 \times 10^{-1} [\text{T}]$ ,  $m = 1.6 \times 10^{-27} [\text{kg}]$  の場合について、 $r = 1.0 \times 10^{-1} [\text{m}]$  となったときの  $E [\text{J}]$  を有効数字 2 桁で求めなさい。

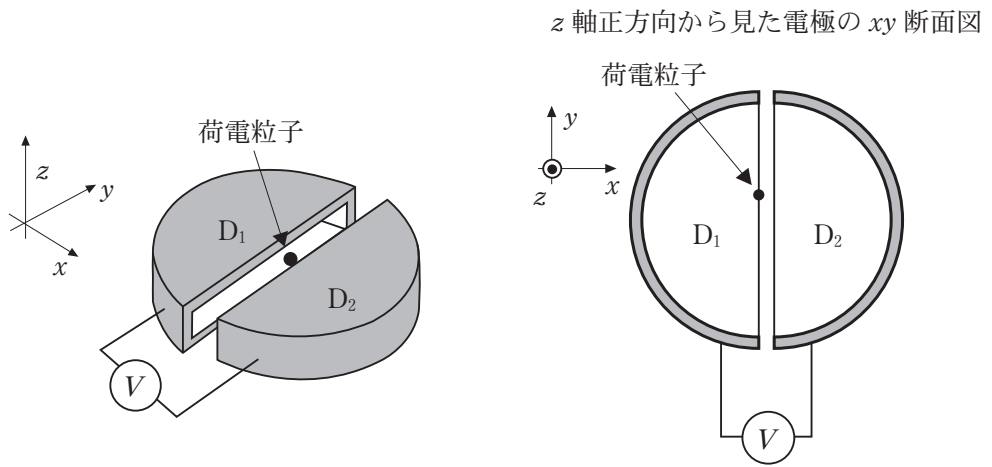


図 1

Ⅲ 2枚の長方形平板ガラス A, B を用意する。平板ガラス A には、図 1 のように表面に深さ  $d$  の溝が彫られており、溝の方向は平板ガラス A の一つの辺と平行である。溝の深さを測るため、平板ガラス B を、図 2 のように厚さ  $b$  の薄いフィルムを間に挟んで重ね、平板ガラス A に対して真上から波長  $\lambda$  の光を当てた。平板ガラス A の端からフィルムの先端までの長さを  $L$  とする。平板ガラス A に対して真上から見たところ、図 3 のように間隔  $a$  の干渉縞<sup>しま</sup>の暗線が現れた。干渉縞は、溝の部分では溝のない部分に対して斜面下方向に  $\frac{3}{4}a$  ずれて現れた。真空中での光速を  $c$ 、空気の屈折率を 1.0、ガラスの屈折率を  $n$  とする。以下の問 1～5 に答えなさい。問題の解答に必要な物理量があれば、それらを表す記号はすべて各自が定義し、解答欄に明示しなさい。また、問 2 以降は導出過程も示しなさい。(配点 25 点)

問 1 ガラス中での光の速さと波長を求めなさい。

問 2 干渉縞の間隔  $a$  を、 $b$ ,  $L$ ,  $\lambda$  のなかから必要なものを用いて表しなさい。

問 3 溝の深さ  $d$  を、 $b$ ,  $L$ ,  $\lambda$ , 整数  $M$  ( $M = 0, 1, 2, \dots$ ) のなかから必要なものを用いて表しなさい。

問 4 2枚の平板ガラスの間を媒質で満たしたとき、干渉縞の間隔が  $\frac{3}{4}a$  になり、干渉縞のずれがなくなった。考え得る溝の深さ  $d$  を、 $b$ ,  $L$ ,  $\lambda$ , 整数  $N$  ( $N = 0, 1, 2, \dots$ ) のなかから必要なものを用いて表しなさい。

問 5 問 4 で得られた結果から、 $L = 3.0 \times 10^{-1}[\text{m}]$ ,  $b = 6.0 \times 10^{-5}[\text{m}]$ ,  $a = 1.5 \times 10^{-3}[\text{m}]$  とした場合の考え得る溝の深さ  $d$  のうち、2 番目に浅い値を有効数字 2 桁で求めなさい。

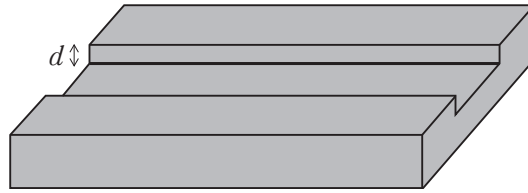


図 1

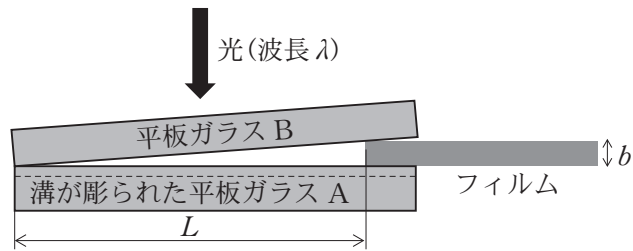


図 2

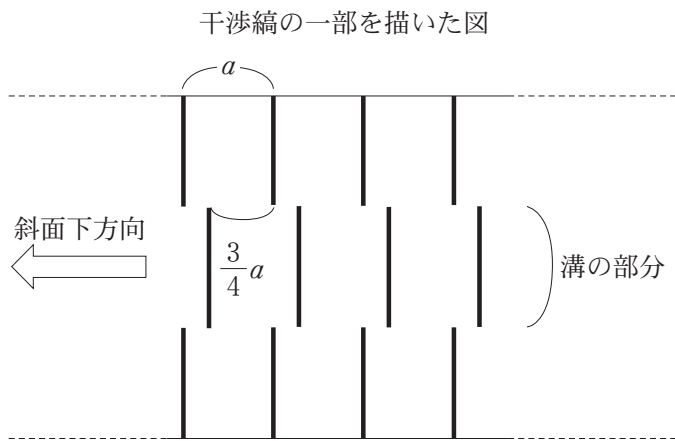


図 3

# 化 学

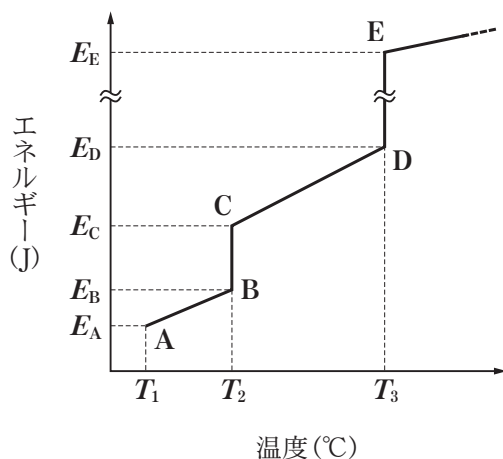
計算のために必要であれば，次の値を用いなさい。

原子量：H 1.00 C 12.0 N 14.0 O 16.0 Cu 63.5

ファラデー定数： $9.65 \times 10^4$  C/mol

I 物質の三態に関する次の文章を読んで問1～6に答えなさい。(配点19点)

容器内に物質質量  $n$  mol の分子結晶が入っている。圧力を一定に保った容器に温度  $T_1$  の状態から一定の速度で熱量を加えていくと，物質に加えたエネルギーと温度の相関に関する下図の結果が得られた。



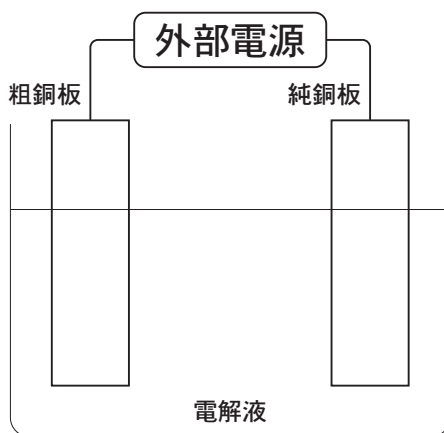
問1 AB間，BC間，CD間，DE間の各領域はそれぞれどのような状態か。以下の①～⑦の中から適切な状態を1つずつ選び，番号で答えなさい。

- ① 固体                      ② 液体                      ③ 気体                      ④ 固体と液体  
⑤ 固体と気体              ⑥ 液体と気体              ⑦ 固体と液体と気体



- 問 2 図の結果からこの物質の融解熱と蒸発熱はそれぞれ何 J/mol と表されるか。表す式を答えなさい。
- 問 3 分子量  $M$  で表されるこの分子結晶  $W$  g の温度を  $T$  °C 上昇させるのに必要なエネルギーは何 J と表されるか。その式を答えなさい。ただし、状態変化は起こらないとする。
- 問 4 BC 間, DE 間ともに、温度が一定に保たれているのはなぜか。その理由を説明しなさい。
- 問 5 圧力を制御できる容器内に氷またはドライアイスを入れて加熱し、それぞれの融点を調べた。氷およびドライアイスの融点は、容器内の圧力を高くしていくと、それぞれどのようなようになるか答えなさい。
- 問 6 魔法瓶のような熱を通さない容器内に 50 °C の水 100 g が入っている。この水に 0 °C の氷 36 g を入れた場合、物質の温度は何 °C になるか。計算の過程とともに有効数字 2 桁で答えなさい。ここで、水の比熱を 4.2 J/(g·K)、氷の融解熱を 6.0 kJ/mol とする。

II 銅の電解精錬に関する次の文章を読んで問1～5に答えなさい。(配点18点)



銅の電解精錬は、銅以外の金属不純物を含む粗銅板を (1) 極に、薄い純銅板を (2) 極として使用し、硫酸酸性硫酸銅(II)水溶液を電解液として、0.3 V 程度の低電圧で電気分解を行うことにより (2) 極に純度 99.99% 以上の純銅が析出する。また、電気分解中に粗銅板の下には沈殿が生成する。この電気分解において、電極表面からの気体の発生はないものとする。

問 1 (1), (2)に入る適切な用語を記述しなさい。

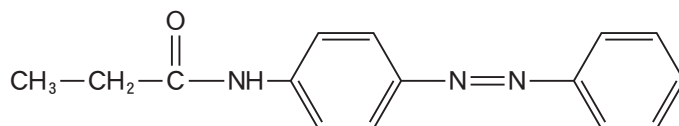
問 2 電気分解の際に粗銅板で起こる銅の化学変化を表す反応式を書きなさい。

問 3 粗銅板には不純物として Ag, Fe, Ni, Pb, Zn が含まれていた。電解精錬後に粗銅板の下に生成した沈殿の元素分析を行ったところ、上記の不純物のうち 2 種類の元素が検出された。これら 2 種類の元素として適切なものを上記の不純物から選択し解答欄に記入しなさい。またそれぞれの元素を含む物質が沈殿する理由について簡潔に説明しなさい。

問 4 電流値 150 A で 2 時間 40 分 50 秒の電気分解を行った場合、質量何 g の純銅が析出するか、計算過程を明記し、有効数字 3 桁で求めなさい。

問 5 電解精錬による電解液中の  $\text{Cu}^{2+}$  の総量の変化について {増加する・減少する・変化しない} のいずれかから選択し丸で囲みなさい。また、その理由を説明しなさい。

Ⅲ 次の文章を読んで問1～7に答えなさい。なお、構造式は以下の例にならって書きなさい。(配点19点)



C<sub>11</sub>H<sub>14</sub>O<sub>3</sub> で表される芳香族化合物 A, B, C, D, E がある。それらすべての化合物は塩化鉄(Ⅲ)水溶液で呈色した。A, B, C, D を加水分解して中和すると、化合物 F, G, H, I が生成した。また同時に、それら全ての溶液に化合物 J も含まれていた。J はナトリウムフェノキシドと二酸化炭素を加熱・加圧して反応させた後、希硫酸で処理して生じた化合物と同じであった。化合物 F, I を硫酸酸性の二クロム酸カリウムと反応させたところ、F からはケトンが生じたが、I は酸化されなかった。F, G, H, I を濃硫酸と加熱すると、分子内反応により G からはアルケン K が、H, I からは同一のアルケン L が、F からは 化合物 K を含む複数のアルケンが生じた。化合物 E を加水分解後、中和すると二つの置換基を有する芳香族化合物 M が生じた。化合物 M のベンゼン環上の水素原子の一つを塩素原子に置換した化合物には 3 種類の異性体が存在した。

問 1 化合物 J の構造式を書きなさい。

問 2 化合物 F, G, H, I のうち、金属ナトリウムと反応する化合物をすべて記号で答えなさい。該当する化合物がない場合は「なし」と書きなさい。

問 3 化合物 F, G, H, I のうち、不斉炭素を有する化合物をすべて記号で答えなさい。該当する化合物がない場合は「なし」と書きなさい。

問 4 化合物 F, G, H, I のうち, それを酸化する過程で生じる物質が銀鏡反応を示しうる化合物をすべて記号で答えなさい。該当する化合物がない場合は「なし」と書きなさい。

問 5 化合物 F, G, H, I のうち, ヨードホルム反応を示す化合物をすべて記号で答えなさい。該当する化合物がない場合は「なし」と書きなさい。

問 6 下線部において生じた, 化合物 K を含むすべてのアルケンの構造式を書きなさい。ただし, 幾何異性体がある場合は区別しなさい。

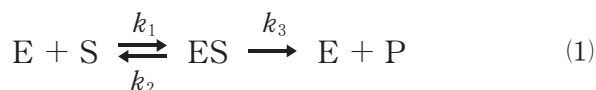
問 7 化合物 M の構造式を書きなさい。

IV 次の文章を読んで問1～7に答えなさい。(配点19点)

天然のアミノ酸は、一般式  $\text{RCH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$  で表される。ここで R は側鎖とよばれ、アラニン ( $\text{R} = \text{CH}_3$ ) のようにアルキル基を含むもの、グルタミン酸 ( $\text{R} = \text{HOOC}(\text{CH}_2)_2$ ) のようにカルボキシ基を含むもの、リシン ( $\text{R} = \text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2)_4$ ) のようにアミノ基を含むものなど、約 20 種類がある。カルボキシ基は  性、アミノ基は  性を示す官能基である。そのため、アミノ酸は中性水溶液中では電離し、分子内に正と負の両電荷をもつ  イオンとなる。分子のもつ正電荷と負電荷を足した値を、分子の正味の電荷という。中性水溶液中での正味の電荷を価数で表すと、その値はアラニンでは , グルタミン酸では , リシンでは  である。

タンパク質は多数のアミノ酸がアミド結合によって縮合した鎖状高分子であり、この時のアミド結合を特に  結合という。タンパク質中のアミノ基は無水酢酸と反応し、タンパク質の一つであるシトクロム *c* はこの反応に伴って、分子量が 12360 から 13160 へと変化する。

タンパク質には酵素 (E) として働くものがあり、生体内で様々な反応の触媒として機能する。酵素には触媒としての作用を示す活性部位があり、ここに基質 (S) を取り込んで酵素-基質複合体 (ES) を形成する。ここから反応が進行して生成物 (P) を与えて、酵素 (E) が再生する。また酵素-基質複合体から酵素と基質に戻る反応も起こる。これらの反応をまとめて式 (1) のように表すことができる。



ここで、 $k_1$  [L/(mol·s)],  $k_2$  [1/s],  $k_3$  [1/s] は式 (1) に示した矢印に対応する各反応の反応速度定数である。酵素反応が式 (1) に示したような経路で進行し、ES の生成と分解の速度がつり合いの状態にあった。このとき、反応速度  $V$  [mol/(L·s)] は式 (2) で表すことができる。

$$V = \frac{k_3[E]_T[S]}{K_M + [S]} \quad (2)$$

$$\text{ただし, } K_M = \frac{k_2 + k_3}{k_1}$$

ここで、 $[E]_T$  は反応に用いた酵素の全濃度であり、 $[S]$  は基質の濃度である。

キモトリプシンはアミド結合の加水分解の触媒として作用する加水分解酵素の一種であり、式 (1) に従って酵素反応を起こす代表的なものである。

問 1 文中の  ～  に入る適切な語句を答えなさい。

問 2 文中の  ～  に入る適切な数値を符号をつけて答えなさい。

問 3 文中下線部のアミノ基をもつタンパク質を  $R'-NH_2$  とし、このタンパク質と無水酢酸との反応を反応式で示しなさい。ここで  $R'$  以外は化合物を構造式で表すこと。

問 4 アミノ基と無水酢酸の反応に伴う分子量の変化から、シトクロム  $c$  が含むアミノ基の数を計算し、最も近い整数で答えなさい。計算過程も示すこと。

問 5  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ , および  $[E]_T$  が変化せず一定の値をとるとき、酵素反応の最大速度  $V_{\max}$  を表す式を式 (2) より導き答えなさい。

問 6 アミド結合を持つある化合物(基質  $S_1$ )を, キモトリプシンと反応させた場合, 反応速度定数は,  $k_1 = 5.05 \times 10^8 \text{ L}/(\text{mol}\cdot\text{s})$ ,  $k_2 = 1000/\text{s}$ ,  $k_3 = 10/\text{s}$  である。このとき,  $K_M$  の値を単位も含めて答えなさい。

問 7 キモトリプシンの全濃度 ( $[E]_T$ ) を  $1.0 \times 10^{-6} \text{ mol/L}$  で一定にし, 基質  $S_1$  との反応を測定した。この時の酵素反応の最大速度  $V_{\max}$  を計算し, 解答欄のグラフ中, 基質濃度  $0 \sim 20 \times 10^{-6} \text{ mol/L}$  の範囲に対し破線(---)による直線で示しなさい。

また, 基質濃度 ( $[S_1]$ ) を  $0 \sim 20 \times 10^{-6} \text{ mol/L}$  の範囲で変化させた場合, この酵素反応の反応速度  $V$  が  $[S_1]$  に対してどのように変化するかを, 解答欄のグラフ中に実線(——)で示しなさい。



# 生 物

I 次の文章を読んで、問1～4に答えなさい。(配点20点)

遺伝物質としてDNAを持つ生物は、その遺伝情報を細胞から細胞へと伝えるため、DNAの配列情報を半保存的複製<sup>(A)</sup>という様式で複製する。DNAの複製反応を担うDNAポリメラーゼは、鋳型となるDNAの配列と相補的なヌクレオチドを重合<sup>(B)</sup>するが、まれに鋳型と相補的でないヌクレオチドを重合してしまう。また、細胞内の代謝で生じる活性酸素や環境に由来する紫外線などによりDNAは絶えず損傷を受けている。複製の誤りやDNAの損傷は遺伝情報を変化させる原因となり、生物に様々な影響をおよぼす可能性<sup>(C)</sup>がある。

問1 下線部(A)に関して、半保存的複製におけるラギング鎖の合成について、以下の語句を全て用いて100字以内で説明しなさい。ただし、句読点も字数に含める。

岡崎フラグメント DNAリガーゼ DNAヘリカーゼ

問2 下線部(A)に関して、以下の問いに答えなさい。

放射性同位元素で標識した塩基の前駆体を含む培地で大腸菌を培養すると、増殖の過程で大腸菌のゲノムに標識塩基が取り込まれ、結果的にゲノムが標識される。このような条件で一晩培養した大腸菌を集め、培地成分をよく洗い落としたのち、放射性同位元素を含まない培地で再び短時間培養してからゲノムを回収した。図1-1は、複製中のある一つの大腸菌のゲノムを撮影した電子顕微鏡画像のイメージ図である。図1-2は、同じゲノムから放出される放射線を検出した画像のイメージ図で、太線は放射線量が多い領域を示している。この大腸菌ゲノムについて、(ア)複製起点、(イ)複製中のDNAポリメラーゼ、(ウ)複製終結点のそれぞれの位置として、適切な記号すべてを図1-3のA～Iから選び、記号で答えなさい。

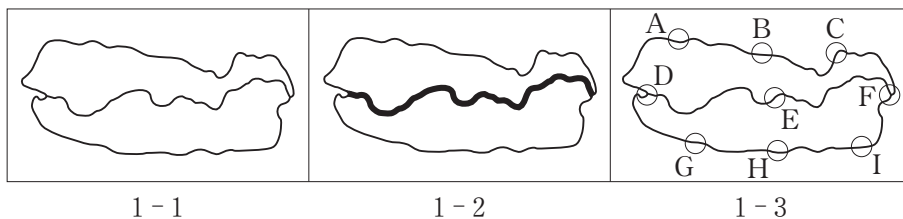


図1

問3 下線部(B)に関して、以下の問いに答えなさい。

- (1) DNA ポリメラーゼがDNA複製の際に基質とするヌクレオチドとして、最適なものを図2(ア)～(カ)から選び、記号で答えなさい。なお、(P)はリン酸を表している。

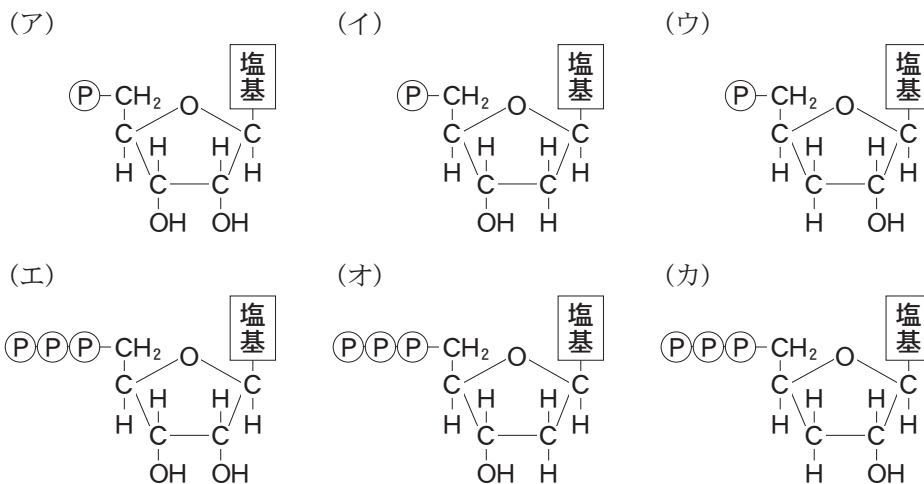


図2

- (2) ある生物において、ゲノムの分子量が  $1.6 \times 10^9$  であった。この生物のゲノムを構成するヌクレオチドの平均分子量を  $3.2 \times 10^2$  とする。この生物のゲノムの長さは何塩基対かを求めなさい。
- (3) (2)の生物において、DNA ポリメラーゼの合成速度は800ヌクレオチド/秒である。この生物のゲノムは環状で、1箇所の複製起点から一定の速度で複製されるものとする。複製が完了するまでに要する時間は何分かを求めなさい。なお、小数点以下は切り捨てる。

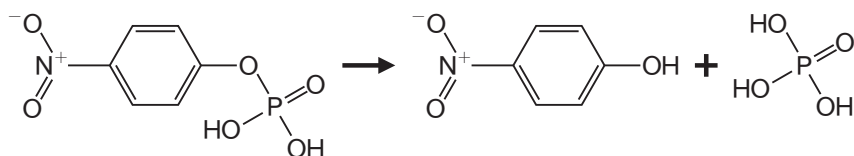
- (4) 遺伝物質として RNA を利用するウィルスのなかには、RNA を鋳型として相補的な配列の DNA を合成する酵素を持つものがある。この酵素を何と  
いうか、答えなさい。

問 4 下線部(C)について、以下の問いに答えなさい。

DNA の塩基配列の変化として、タンパク質のアミノ酸配列を指定するコドンにおける変化がある。コドンの変化がアミノ酸配列に影響をおよぼす具体例を 2 つあげ、変化と影響の関係がわかるように、それぞれ 50 字以内で説明しなさい。ただし、句読点も字数に含める。

II 次の文章を読んで、問1～3に答えなさい。(配点15点)

様々な生体分子の脱リン酸化反応を触媒する酵素をフォスファターゼ(またはホスファターゼ)と呼ぶ。このうち最適pHが5.6のコムギ酸性フォスファターゼの反応速度を以下の実験1から3で調べ、図1、2の結果を得た。いずれの実験も、脱リン酸化反応は酵素溶液と基質のpNPP(*p*-ニトロフェニルリン酸)溶液をすばやく混合して、各pHで正確に25℃、5分間行い、水酸化ナトリウム溶液を加えて反応を停止し、生成したpNP(*p*-ニトロフェノール)の量を反応時間で割って反応速度を求めた。



(参考：pNPPの脱リン酸化によるpNPの生成)

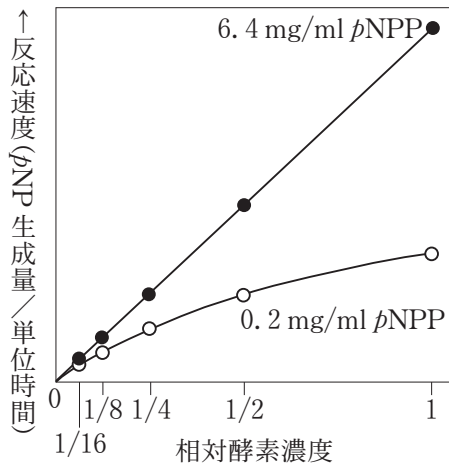


図1

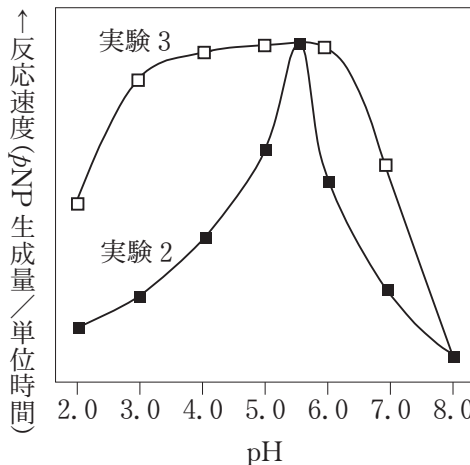


図2

[実験1] 反応時の濃度が0.2 mg/mlあるいは6.4 mg/mlのpNPPと、反応時の濃度が0.8 mg/mlの酵素原液(相対酵素濃度1)あるいは1/2, 1/4, 1/8, 1/16倍希釈の酵素をpH5.6(最適pH)で5分間反応させた。相対酵素濃度を横軸、反応速度を縦軸に図1のグラフを得た。白丸実線(○—○)は0.2 mg/mlのpNPP, 黒丸

実線(●—●)は 6.4 mg/ml の *p*NPP での反応結果である。

[実験 2] 酵素活性の pH 依存性を検証するため、反応時の濃度が 6.4 mg/ml の *p*NPP と、反応時の濃度が 0.2 mg/ml の酵素液を異なる pH(2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 5.6, 6.0, 7.0, 8.0) で 5 分間反応させた。反応時の pH を横軸、反応速度を縦軸に図 2 のグラフの黒四角実線(■—■)を得た。

[実験 3] 酵素液を 25℃ で 1 時間、異なる pH(2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 5.6, 6.0, 7.0, 8.0) で前処理したあと、すみやかに pH 5.6 に戻して、反応時の濃度が 6.4 mg/ml の *p*NPP と、反応時の濃度が 0.2 mg/ml の前処理酵素液を 5 分間反応させた。前処理の pH を横軸、反応速度を縦軸に図 2 のグラフの白四角実線(□—□)を得た。

問 1 実験 1 で、反応時の *p*NPP 濃度が 6.4 mg/ml の時、調べた酵素濃度範囲においてグラフ(●—●)は原点を通る直線になった。一方、反応時の *p*NPP 濃度が 0.2 mg/ml の時は、グラフ(○—○)の実線のように酵素濃度が低い一定範囲で原点を通る直線上にあったが、やがてゆるやかな曲線となった。グラフ(○—○)が原点を通る直線上から下側に外れた理由を「基質」と「酵素」の両方を使って、句読点含め 30 字以内で説明しなさい。

問 2 実験 2 のように各酵素には最適 pH がある。ヒトのペプシンを例に、どの器官で働き、どのような活性をもち、最適 pH がどのあたりの酵素か、を句読点含め 40 字以内で説明しなさい。ただし、「pH」は 1 文字とする。

問 3 実験 3 の結果(□—□)を実験 2 の結果(■—■)と比較し、この酵素の構造と活性の関係について「構造変化」、「変性」、「可逆的」を全て使って、句読点含め 40 字以内で説明しなさい。ただし、「pH」は 1 文字とする。

Ⅲ 次の文章(Ⅲa)と(Ⅲb)を読んで、問1～5に答えなさい。(配点20点)

(Ⅲa)

任意交配をし、秋に大量の種子をつける2倍体の一年生被子植物Zにおいて、タンパク質Sは、通常、根特異的に合成される。しかし、周囲から隔離されたある島において、Zの集団では、葉でもSを合成する個体が見つっている。葉でSを合成する表現型を示す個体とSを合成しない表現型を示す個体を交配してできた雑種第一代( $F_1$ )においては、すべての個体が、葉でSを合成しなかった。更に、 $F_1$ 個体を自家受粉して得られた雑種第二代( $F_2$ )の分離比から、単一の遺伝子によって表現型が決定されていると考えられた。そこで、この表現型を決定する遺伝子を遺伝子Xとし、その対立遺伝子を優性Aおよび劣性aとした。

<sup>(A)</sup>ある研究グループが、この島で、葉でSを合成する個体数を4年にわたって夏に調査した。1年目の調査で、700個体を採集したところ、252個体が葉でSを合成していた。調査結果をもとに遺伝子平衡が成立するときのAとaの遺伝子頻度を計算してみるとAは  であり、aは  であった。その結果、次の年に期待される葉でSを合成する表現型の頻度は  であると推定された。実際に、2年目の調査でのSを合成する表現型の頻度は、遺伝子平衡が成立時に期待された表現型の頻度と一致した。

一方、3年目の調査においては、葉でSを合成する個体を見つけることができなかった。<sup>(B)</sup>調査に入る前に、Zの葉に感染する外来の病原菌が大発生した。この病原菌は、感染確立に宿主植物のタンパク質Sを必要とするため、幼苗期の葉でSを合成する個体に寄生し、葉でSを合成する個体全てを枯らしてしまったと推測された。この病原菌は、この島で越冬できないので、3年の春に何らかの要因で外部から持ち込まれたと考えられる。<sup>(C)</sup>4年目の調査では、葉でSを合成する個体を再び見つけることができた。

問1 空欄  と空欄  に入る遺伝子頻度と、空欄  に入る葉でSを合成する表現型の頻度を答えなさい。

問 2 下線部(B)の 3 年目における S を合成する表現型の頻度は、遺伝子平衡が成立するとして前年度の遺伝子頻度から推定された表現型の頻度と一致しない。ハーディー・ワインベルグの法則においてどの前提が崩れたのか、最も可能性のあるものを句読点含め 30 字以内で答えなさい。

問 3 下線部(C)の 4 年目においてなぜ S を合成する個体を再び見つけることができたのかを句読点含め 50 字以内で説明しなさい。

(Ⅲb)

実験室に戻り、タンパク質 S の合成がどのように調節されているのかを調べるために、葉で S を合成しない純系個体を作成し、その個体に塩基置換を引き起こす変異原を処理したところ、S の合成において野生型と異なる 2 種類の変異株が得られた。これらの変異株では、調節遺伝子 I 又は調節遺伝子 II の機能が失われていた。調節遺伝子 I と調節遺伝子 II の変異型の対立遺伝子を b と c、野生型の対立遺伝子を B と C とした。様々な遺伝子型において、S の合成を、葉と根で調べたところ表 1 のような結果が得られた。調節遺伝子 I と調節遺伝子 II は、タンパク質 S を合成する遺伝子 S の上流で機能する調節タンパク質 I と調節タンパク質 II をコードすることが想定された。

表 1 それぞれの遺伝子型と組織におけるタンパク質 S の合成の有無

		遺伝子型						
		BBCC	BBcc	bbCC	bbcc	BbCc	BbCC	BBCc
組織	葉	×	○	×	○	×	×	×
	根	○	○	×	○	○	○	○

○：タンパク質 S の合成有り ×：タンパク質 S の合成無し

問 4 文章(Ⅲa)中で示した下線部(A)の野外集団の遺伝子 X は、調節遺伝子 I または II であることが実験からわかっている。遺伝子 X は、調節遺伝子 I と調節遺伝子 II のどちらに対応するか答えなさい。

問 5 調節遺伝子 I と調節遺伝子 II による遺伝子 S の調節機構として最も適切であると思われるモデルを図 1 の(ア)～(ク)より選び、記号で答えなさい。そして、野生型において、根と葉で S の合成がどのように調節されているのかをそれぞれ 80 字以内で説明しなさい。ただし、句読点も字数に含める。なお、図中の白抜き矢印は、遺伝子の発現をあらわす。



図 1



IV 次の文章を読んで、問1～6に答えなさい。(配点20点)

海洋生態系、とくに外洋域の生産者である植物プランクトンは、藻類ともよばれる。藻類には陸上植物とは異なる光合成色素組成を持っているものも知られているが、真核生物のもつ葉緑体はすべて  という細菌ドメインに属する生物が起源だと考えられている。およそ27億年前から、 が光合成を行なった <sup>(A)</sup> 証拠が残っている。緑藻のような藻類は、 を取り込み葉緑体を獲得したと考えられている。 と全ての真核性藻類は、 を光合成色素として共通してもっており、このことは  が葉緑体の起源であることの証拠の一つとされる。

生態系の物質収支は、総生産量や純生産量、呼吸量などによって表される。生産者においては、総生産量の一部が成長量となり、一定期間が経過したのち、現存量へと加わる。表1に示めされているように、現存量と純生産量の関係は、生態系によって異なり、例えば、森林は草原に比べて10倍近い現存量を持つが、純生産量の平均値では2倍程度に過ぎない <sup>(B)</sup>。海洋生態系では、現存量よりも純生産量の方が高い値をしめす。外洋域においては栄養塩が不足しやすいため、栄養塩が川などを通じ供給される浅海域の方が、外洋域に比べて純生産量の平均値が高い。

表1 陸域および海洋域における生産者、および消費者の現存量と純生産量の関係  
(一部の数値は表示していない)。

	生産者			消費者	
	現存量 平均値 (kg/m <sup>2</sup> )	純生産量 平均値 (kg/(m <sup>2</sup> ・年))	世界全体 (10 <sup>12</sup> kg/年)	現存量 平均値 (kg/m <sup>2</sup> )	生産量 平均値 (kg/(m <sup>2</sup> ・年))
陸域全体	12.3	0.77	115	0.007	0.006
森林	29.8	1.40	79.9	--	--
草原	3.1	0.79	18.9	--	--
海洋全体	0.01	0.15	--	0.003	0.008
外洋域	(ウ)	0.13	(エ)	0.002	0.008
浅海域(大陸棚)	0.01	0.36	9.6	0.060	0.016

問 1  ,  に最も適切な生物名, あるいは語句を答えなさい。

問 2 下線部(A)の証拠として知られる鉄鉱層(しま状鉄鉱床)はどのように形成されたものか, 60 字以内で説明しなさい。ただし, 句読点も字数に含める。

問 3 以下の式の  に入る言葉を下の語群から 3 つ選び, 答えなさい。ただし, 解答は順不同でよい。

$$\text{生産者の成長量} = \text{総生産量} - ( \text{  } + \text{  } + \text{  } )$$

[語群：被食量, 不消化排出量, 同化量, 摂食量, 呼吸量, 枯死量]

問 4 下線部(B)のような, 森林と草原における現存量と純生産量の比率の違いの原因となる樹木と草本の構造の違いを 40 字以内で説明しなさい。ただし, 句読点も字数に含める。

問 5 表 1 の ( ウ ), ( エ ) の数値として最も近い組み合わせを, 下の①～④の組み合わせから 1 つ選び, その記号を答えなさい。

	ウ	エ
①	0.03	10
②	0.03	40
③	0.003	10
④	0.003	40

問 6 表 1 の浅海域の生態系にみられる生態ピラミッドの特徴を, 下の語群の語句を全て用いて 100 字以内で説明しなさい。また, 生態ピラミッドにそのような特徴が現れる原因を 40 字以内で説明しなさい。ただし, 句読点も字数に含める。

[語群：消費者, ピラミッド型, 生産量, 現存量]

# 地 学

I 次の文章を読んで、以下の問1～4に答えなさい。(配点25点)

地球は太陽系の惑星の中で唯一液体の水が恒常的に存在し、この水(海)は表面の約  % を占める。海が存在している原因の1つは、海底をつくる海洋地殻<sup>(A)</sup>が陸(大陸)を構成する大陸地殻より密度が高く、そのために低地をなすからである。海洋地殻は  などのプレート生産(発散)境界でのマグマ活動によって形成され、一方、大陸地殻はプレートの消費(収束)境界でつくられる。

日本海は弧状列島である日本列島とアジア大陸との間に位置する「背弧海盆」であり、大洋とは地殻の構造が異なっている(図)。海洋地殻はその一部を占めるにすぎず、多くの部分は大陸地殻とそれが引き伸ばされたものからなっている。例えば大和堆などでは  などの大陸地殻を特徴づける岩石が採取されている。

一方で、日本列島を構成する中生代～新生代の火成岩や堆積岩について、それらが保持する残留磁気を解析して、岩石や地層が形成した時代の古地磁気方位(過去のN極の方向)を調べると、今から約1600万年以前(図の白矢印)と約1400万年前(図の黒矢印)とで系統的な差があることがわかった。さらにその方向の変化は、東北日本と西南日本で逆になっている。このことは、今から約1400～1600万年前に、東北日本は反時計回りに、西南日本は時計回りに回転運動したことを示している。

日本海の形成過程については、上記の地殻構造と日本列島の古地磁気方位の変化<sup>(B)</sup>の解析によってほぼ明らかになったといえよう。またこのことによって、現在の日本列島がなぜ太平洋に向かってせり出した弓なりの形をしているのかも理解できるようになった。

今から約1500万年前に起きたこの地質学的大事件は、日本列島でも様々な「異変」を引き起こした。その1つは紀伊半島中南部(図の★印)で約1400万年前<sup>(C)</sup>に起きた大規模な火成活動である。この活動では大量の火砕流が噴出し、火山性の陥没地形である  が複数形成された。一般的にはこのような海溝(トラフ)近傍では、沈み込むプレートの温度が低いために、マグマは発生しない。しかし当

時の紀伊半島の南部にあったフィリピン海プレートは、誕生後およそ 100 万年しか経過していない若いプレートであった。

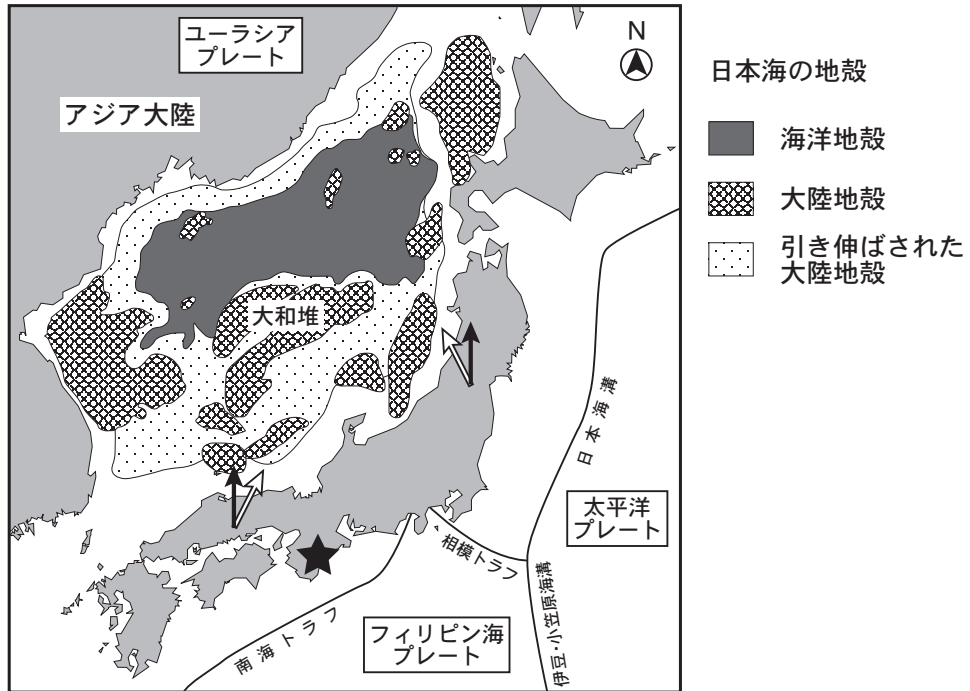


図 日本海の地殻構造及び日本海の形成に関連する地質記録

問 1 空欄  ～  にあてはまる適切な数値または語句を答えなさい。

問 2 下線部(A)について、海洋地殻と大陸地殻の密度の違いについて化学組成の観点から説明しなさい。

問 3 下線部(B)について、日本列島と日本海の形成過程を説明しなさい。

問 4 下線部(C)について、なぜこの地域で異常な火成活動が起きたのかを、日本海の形成と関連づけて述べなさい。

II 次の文章を読んで、以下の問1～5に答えなさい。(配点25点)

地球は、約46億年前に原始太陽系円盤中の微惑星が集積してできたと考えられている。誕生直後の地球は、天体の衝突エネルギーや大気の **ア** によって表面が高温となり、ついには融解して **イ** と呼ばれる状態になった。その後、密度の高い金属の鉄は中心部に移動して核となり、岩石質の物質は核の周りの<sup>(A)</sup> マントルとなった。さらにマントルの表面が固まり地殻ができた。このようにして地球では化学組成や密度の異なる層構造が形成されたと考えられている。

一方、現在の太陽系には地球のような惑星に成長できなかった天体もある。そのような天体は、小惑星帯(メインベルト)に数多く存在しており小惑星と呼ばれている。小惑星のほとんどは10km以下の小さな天体である。地球に落下する隕石の多くは小惑星起源であり、地球や太陽系の歴史を研究するうえで重要な手がかりとなっている。特に **ウ** といわれる隕石の化学組成は、太陽の大気組成と非常<sup>(B)</sup> に似ており、地球の材料となった原始太陽系の物質が大規模な融解を経験すること<sup>(C)</sup> なくそのまま残ったものだと考えられている。

地球は、誕生から46億年を経てもなお活発な火山活動が続いていることからわかるように、内部が非常に高温である。その主な熱源は、形成時に蓄えられたエネルギーと、岩石に含まれるウラン・トリウム・ **エ** などの放射性同位体の崩壊に伴って生成する熱エネルギーであると考えられている。地球内部の熱は低温である表面に向かって絶えず流れ出ており、地球全体としてはゆっくりと冷却している。地球の内部から表面へ移動する熱量を **オ** といい、地球全体の平均値は約0.087 W/m<sup>2</sup>である。地球の冷却に伴って、液体である外核は徐々に固化し内<sup>(D)</sup> 核が成長している。

問1 空欄 **ア** ～ **オ** にあてはまる適切な語句を答えなさい。

問2 下線部(A)について、このような過程で地球内部の温度はどのように変化するか、答えなさい。

問 3 下線部(B)について、太陽の大気組成はどのような方法で調べられているか、答えなさい。

問 4 下線部(C)について、なぜ小惑星のような小さな天体は融解する程の高温になりにくかったのか、説明しなさい。

問 5 下線部(D)について、どのような観測事実から地球の外核は液体であると推定されているのか、答えなさい。図を用いて説明してもよい。

Ⅲ 次の文章を読んで、以下の問1～4に答えなさい。(配点25点)

我々の住む太陽系は銀河系と呼ばれる銀河の一部である。銀河系は、多数の恒星や星団からなり現在も活発にガスから星ができている  部、古い恒星が丸い形で集まっている  部、およそ百万個の恒星の集団である  星団が散らばって分布している  部からなる。その中で太陽系は、  部にあつて、銀河系の中心からおよそ2.8万光年の距離に位置している。

銀河系の隣には、銀河系と同程度の質量を持つアンドロメダ銀河があり、この二つとさらに小質量の銀河数十個を合わせて局所銀河群を構成している。アメリカの天文学者ハッブルは変光星の周期－光度関係を用いて、アンドロメダ銀河までの距離を求め、アンドロメダ銀河が銀河系の外にある別の銀河であるということを示した。また、ハッブルは、観測により銀河系の近くにある銀河までの距離と後退速度の間に比例関係を見だし、宇宙膨張を証明した。この比例関係はハッブルの法則と呼ばれる。現在宇宙が一様に膨張しているということは、過去にさかのぼると宇宙は一点に集中することを意味している。これは  という高温高密度だったおよそ138億年前の宇宙の始まりの時期に対応する。

問1 空欄  ～  にあてはまる適切な語句を答えなさい。

問2 地上からは、夜空に天の川と呼ばれる星の帯状の分布が見られる。太陽系の銀河系における位置と関連づけてなぜ天の川が帯状に見えるのか、説明しなさい。

問3 太陽系が厳密な円運動をしていて、その運動の中心が銀河系の中心と一致しているとする。また、銀河系内における太陽系の回転速度を220 km/s とする。一周するのに何年かかるかを有効数字2桁で答えなさい。なお、1年を  $3.2 \times 10^7$  s、1光年を  $9.5 \times 10^{15}$  m として計算しなさい。

問 4 下線部について、次の問いに答えなさい。

変光星について、次のような周期－光度関係が成り立っているとする。

$$M = -2.8 \log_{10}(P) - 1.4$$

$M$  は平均の絶対等級、 $P$  は変光の周期を日で表したものである。

アンドロメダ銀河に見かけの等級 ( $m$ ) が 18.6 等で周期が 31.4 日の変光星が見つかったとする。この関係を用いてアンドロメダ銀河までの距離をパーセクの単位を用いて、有効数字 2 桁で答えなさい。計算の過程も示しなさい。

なお、 $M$  と  $m$  の間には、

$$M = m + 5 - 5 \log_{10}(d)$$

という関係がある。ここでの  $d$  は距離をパーセクの単位で表したものである。

また、 $\log_{10}(31.4) = 1.5$  および  $10^{0.84} = 6.9$  とする。