

# 平成 31 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	(15～32 ページ)
生 物	(33～48 ページ)	地 学	(49～63 ページ)

### (注 意)

1. 問題冊子および解答冊子は監督者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 63 ページである。また、解答冊子は表紙のほかに、物理：20 ページ、化学：12 ページ、生物：12 ページ、地学：16 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

次の文章を読み、問 1～問 4 に答えよ。解答はすべて所定の解答欄に記入せよ。

1 つの遺伝子の異常が原因となって発症する病気を総称して単一遺伝子疾患と呼ぶ。ある単一遺伝子疾患の原因となる遺伝子  $P$  は常染色体上<sup>①</sup>に存在し、酵素  $P$  をコードする。酵素  $P$  は、1 本のポリペプチド鎖のみからなる単量体として機能する。この酵素  $P$  は化合物  $X$  を基質として化合物  $Y$  に変換する反応を触媒するが、遺伝子  $P$  に異常が生じた結果、化合物  $X$  が体内に蓄積して毒性を発揮することでこの疾患が発症する。その疾患の患者  $K$  の 2 本の相同染色体上の遺伝子  $P$  には、それぞれ 1 箇所ずつ、異なる 1 アミノ酸置換を引き起こす突然変異(変異  $a$ 、変異  $b$ )が生じていた。通常、タンパク質はそれぞれに固有の立体構造に折りたたまれてはじめて機能を持ち、折りたたまれたタンパク質の内部には疎水性アミノ酸が、表面には親水性アミノ酸が多く見られる。変異  $a$  では、酵素  $P$  の立体構造上表面に位置する親水性アミノ酸が別の親水性アミノ酸に置換される。一方、変異  $b$  では、酵素  $P$  の立体構造上内部に位置する疎水性アミノ酸が親水性アミノ酸に置換される。患者  $K$  で見いだされた遺伝子変異が酵素  $P$  の性質に及ぼす影響を調べるため、正常型対立遺伝子  $P^{wt}$  から作られる正常型酵素  $P^{wt}$ 、変異  $a$  を持つ対立遺伝子  $P^a$  から作られる酵素  $P^a$ 、および変異  $b$  を持つ対立遺伝子  $P^b$  から作られる酵素  $P^b$  を、それぞれ  $4^\circ\text{C}$  で注意深く精製した後、以下の実験を行った。

**実験 1**：精製したそれぞれの酵素  $1\ \mu\text{g}$  を  $25^\circ\text{C}$  の水溶液中で化合物  $X$  と混合して反応させ、生成する化合物  $Y$  の量を測定することによって、各酵素の反応速度を求めた。化合物  $X$  の濃度のみが異なる様々な条件で反応を行い、反応に用いた化合物  $X$  の濃度と反応速度の関係を各酵素について調べたところ図 1 のようになった。

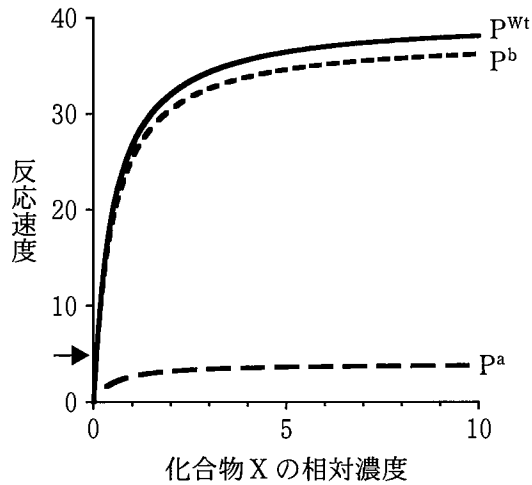


図1 反応に用いた化合物Xの相対濃度(横軸)と反応速度(縦軸)の関係

健常者の生体内における化合物Xの濃度を1とした。反応速度は、1分あたりに生成した化合物Yの量( $\mu\text{g}/\text{分}$ )である。また、十分に高い化合物Xの濃度を用いて反応を行った場合においても、 $P^a$ の反応速度が $5\mu\text{g}/\text{分}$ (図中矢印)を越えることはなかった。

実験2：次に、温度による影響を検討するため、精製した各酵素を $25^\circ\text{C}$ あるいは $37^\circ\text{C}$ で1時間おいた後、実験1と同様の方法で、 $25^\circ\text{C}$ における酵素反応速度を測定した。反応には健常者の生体内濃度の10倍の化合物Xを用いた。各条件での酵素反応速度を表1に示す。

表1 種々の条件下における酵素Pの反応速度

表中の数値は1分あたりに生成した化合物Yの量( $\mu\text{g}/\text{分}$ )を示す。

使用した酵素	反応測定前の条件	
	$25^\circ\text{C}$ 1時間	$37^\circ\text{C}$ 1時間
正常型酵素 $P^{\text{wt}}$	38	38
変異型酵素 $P^a$	4	4
変異型酵素 $P^b$	36	3

問 1 下線部①に関連して、代表的な単一遺伝子疾患としてフェニルケトン尿症がある。フェニルケトン尿症は、アミノ酸のひとつであるフェニルアラニンを水酸化する酵素の遺伝子異常により引き起こされる。フェニルアラニンを基質としたときのこの酵素の反応生成物の名称を、次の(あ)～(お)より1つ選び、記号を解答欄に記入せよ。

- (あ) アラニン
- (い) ダイニン
- (う) グリコーゲン
- (え) システイン
- (お) チロシン

問 2 実験1において、変異 a に起因するアミノ酸の置換によって酵素 P の酵素活性が図 1 に示すように変化した理由として、最も適切なものを(あ)～(え)より1つ選び、記号を解答欄に記入せよ。

- (あ) 酵素反応の活性化エネルギーが低下したため。
- (い) 酵素反応の活性化エネルギーが上昇したため。
- (う) 酵素 P と化合物 X が結合する力が弱まったため。
- (え) 酵素 P と化合物 X が結合する力が強まったため。

問 3 実験2において、酵素を 37℃ でおいた後に反応速度を測定した際に、変異型酵素 P<sup>b</sup> で大幅な酵素活性の低下が見られた理由を考え、解答欄の枠の範囲内で説明せよ。

問 4 患者 K の生物学上の両親の DNA 配列を調べたところ、父親は  $P^{wt}$  と  $P^a$  を、母親は  $P^{wt}$  と  $P^b$  を持っており、どちらも疾患症状を呈していなかった。すなわち、 $P^a$  および  $P^b$  はどちらも劣性遺伝する。患者 K が疾患を発症する理由と、その両親が発症していない理由を生体内における酵素活性の観点から考え、実験結果を引用しながら、解答欄の枠の範囲内で説明せよ。ただし、各相同染色体から発現する酵素 P の分子数は変異の有無に関わらず同等であるものとする。

## 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) 野生型のカイコガ幼虫の皮膚の細胞には、脂質二重膜で囲まれた顆粒の中に尿酸の結晶が蓄えられている。この顆粒(尿酸顆粒)は光を乱反射するため、野生型の幼虫の皮膚は白色に見える。

カイコガの性決定様式はZW型であり、雌はZW、雄はZZの性染色体をもつ。Z染色体上には、尿酸顆粒の形成に必要な遺伝子Aが存在する。カイコガにおいて尿酸は消化管、脂肪体(ヒトの肝臓と似た機能をもつ組織)、排せつ器官などの組織や器官で作られ、その一部が血液を経由して皮膚の細胞内に運ばれる。遺伝子Aから作られるタンパク質は、<sup>①</sup>皮膚の細胞内で尿酸を尿酸顆粒の中に蓄積させる役割をもっている。遺伝子Aには突然変異によって機能を失った対立遺伝子aが存在する。野生型の対立遺伝子AをもつZ染色体を $Z^A$ 、対立遺伝子aをもつZ染色体を $Z^a$ とそれぞれ表す場合、 $Z^AW$ 、 $Z^AZ^A$ 、 $Z^AZ^a$ の幼虫は皮膚全体が白色となり、 $Z^aW$ 、 $Z^aZ^a$ の幼虫は皮膚全体が透明となる。

実験1：純系の野生型のカイコガどうしを交配し、受精直後の卵を得た(図1)。その後、核の分裂が卵の中心部で盛んに行われる時期の卵の細胞質に、<sup>②</sup>遺伝子A特異的に機能欠損型の突然変異を誘発することができる変異原を注入した。この処理を行った卵からふ化した幼虫は、1つの生物の体に遺伝的に異なる細胞が混在する個体となった。多数の卵に対してこの処理を行い、ふ化した幼虫を育てて観察すると、多くの幼虫では皮膚全体が白色のままであった。しかし、一部の幼虫では皮膚<sup>③</sup>に透明になった領域がまばらに形成されており、透明になった領域と白色の領域は明瞭な境界をもって接していた。観察した幼虫の雌と雄の個体数の比(性比)は1:1であったが、皮膚に透明の領域をもつ幼虫は ア のほうが多かった。

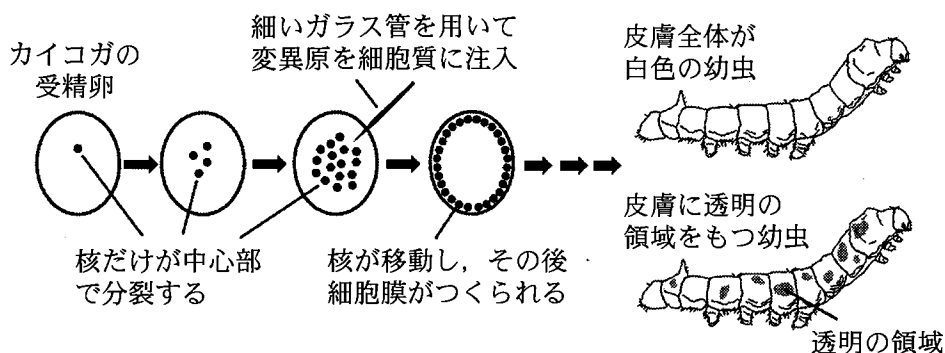


図 1

実験 2：実験 1 で得られた、皮膚に透明になった領域がまばらに形成された幼虫のうち、 を成虫まで育てて、異性の純系の野生型の成虫と交配して次世代の卵を得た。これらの卵からふ化した幼虫<sup>④</sup>を育てて観察すると、一部の幼虫では皮膚全体が透明になっていた。観察した幼虫の性比は 1 : 1 であったが、皮膚全体が透明になった幼虫はすべて  であった。

問 1 文中の  ~  にはそれぞれ「雌」または「雄」のどちらかが当てはまる。適切な方を選択し、解答欄に記せ。

問 2 下線部①に関連して、昆虫の血管系を何と呼ぶか、解答欄工に記せ。また、その特徴を解答欄オの枠の範囲内で説明せよ。

問 3 カイコガの受精卵では下線部②の時期を経た後に卵割が起きる。昆虫でみられるこのような卵割の様式を、魚類や鳥類の卵割の様式と区別して特に何と呼ぶか、解答欄に記せ。

問 4 下線部④について、これらの幼虫では親世代でみられた下線部③のような表現型はみられず、皮膚が透明になった場合は常に皮膚全体が透明になっていた。このように親世代と子世代で皮膚の表現型が異なった理由を、解答欄の枠の範囲内で説明せよ。

(B) ニワトリの前肢の発生は、受精後3日目頃の胚で始まる(図2A)。この時期の前肢の後方領域に位置する中胚葉組織は極性化活性域と呼ばれ、⑤周囲の細胞群に対し前後軸の極性を与える(図2B)。前肢の細胞が前後軸に沿った位置情報を受けとることにより、受精後10日目までには、3本の指が形づくられる(図2C、前から後ろにかけて、1-2-3。番号は各指の名称を示す)。極性化活性域では、ソニックヘッジホッグ(SHH)と呼ばれるタンパク質が細胞外に分泌され、拡散により前後軸に沿ったSHHの濃度勾配が形成される。ニワトリの前肢の発生過程では、SHHが位置情報を与える分子としてはたらし、濃度依存的に各指の個性を決める。SHHのように、濃度に応じて細胞に位置情報を与え、細胞の発生運命を決める物質を、⑥モルフォゲンと呼ぶ。

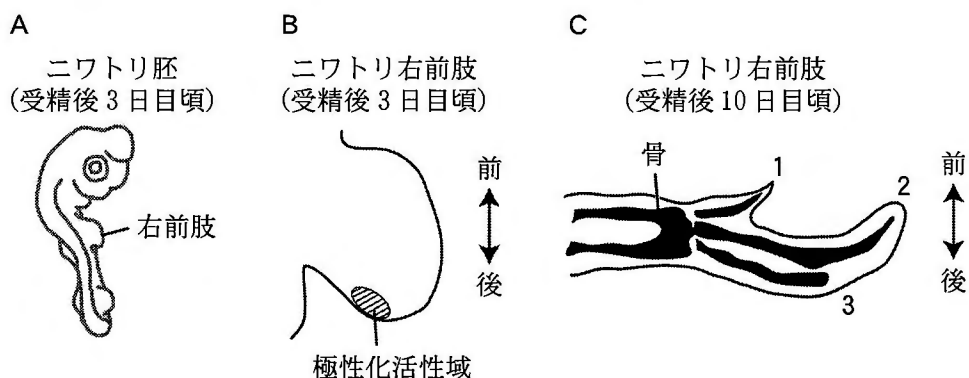


図2

この図のB、Cはニワトリの右前肢を背側から眺めたものである。

問5 下線部⑤に関連して、極性化活性域のように、誘導作用をもつ胚領域を何と呼ぶか、解答欄に記せ。



問 6 下線部⑥に関連して、次の文章を読み、以下の(1)~(3)に答えよ。

モルフォゲンの変化が位置情報に与える影響を定量的に表現するための数理モデルを考える。1次元空間  $x(\geq 0)$  において、モルフォゲンは供給源  $x = 0$  の位置から分泌され、 $x$  軸の正の向きに拡散し分解されるものとし、その濃度  $y$  を、

$$y = ae^{-bx} \quad \text{式(i)}$$

でモデル化する(図3)。 $a$ はモルフォゲンの分泌量に関する係数、 $b$ は拡散・分解によるモルフォゲンの広がり程度を表す係数である。ここで、モルフォゲンの濃度が  $c$  となる  $x$  軸上の位置を  $X$  とする。なお、 $b > 0$ 、 $0 < c < a$  とする。 $e$ は自然対数の底(ネイピア数)を表す。

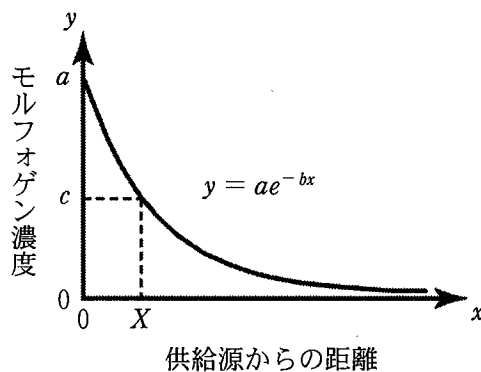


図 3

(1)  $a$ 、 $b$ 、 $c$  を用いて、位置  $X$  を表す式を、解答欄に記せ。

この問題は、次のページに続いている。

(2) モルフォゲン濃度に関するモデル式(i)をニワトリ前肢に適用する。極性化活性域に  $x$  軸の原点を置き、右前肢の前後軸に沿って  $x$  軸を図4のように定める。野生型の SHH の濃度は、式(i)において  $a = 1.0$ ,  $b = 0.030$ , すなわち  $y = e^{-0.030x}$  で表されるものとする。また、SHH の濃度が 0.50 において指3 (図2C)の位置が定まるものとする。 $x$  の単位は  $\mu\text{m}$  である。

さて、野生型に比べ、SHH の分泌量が2倍となる変異型の個体がいるとしよう。この変異型個体における指3の位置は、野生型個体と比べてどのように変化すると考えられるか。位置の変化について向きと距離(有効数字2けた)を導出過程とともに、解答欄の枠の範囲内で記せ。ただし、 $\log_e 2$  を 0.69 として計算せよ。

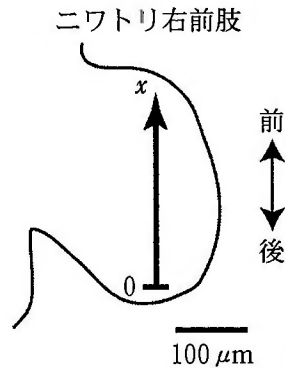


図4

(3) 受精後 3 日目頃の(2)の変異型の右前肢をある化合物で処理したところ、受精後 10 日目までに指 3 が野生型と同じ位置に形成された。この化合物がもつ効果として可能性のあるものを、次の(あ)～(か)からすべて選び、解答欄に記入せよ。

- (あ) SHH の分泌を促進する。
- (い) SHH の分泌を抑制する。
- (う) SHH と SHH 受容体との結合を促進する。
- (え) SHH と SHH 受容体との結合を抑制する。
- (お) 分泌後の SHH の分解を促進する。
- (か) 分泌後の SHH の分解を抑制する。

## 生物問題 III

次の文章を読み、問1～問4に答えよ。解答はすべて所定の解答欄に記入せよ。

植物の種子には成熟後に **ア** し、生育に不適當な時期を種子のまま長い間耐えられるようになるものが多い。これらの種子では成熟する過程で、植物ホルモンである **イ** の含有量が増加し、貯蔵物質の蓄積や脱水が誘導されるとともに、種子の乾燥耐性が獲得される。種子の **ア** は、吸水や一定期間の低温あるいは光にあたることなどが刺激となり解除される。**イ** によって **ア** が維持されている場合には、別の植物ホルモンであるジベレリンが増加することによって **ア** が解除されることが多い。

光にあたることでジベレリンの合成が誘導され、発芽が促進される種子が知られており、光発芽種子とよばれる。光発芽種子の発芽は、種子にあたる赤色光(波長 660 nm 付近)と遠赤色光(波長 730 nm 付近)<sup>①</sup>の比率によって促進あるいは抑制されており、その調節には **ウ** とよばれる光受容体が関わっている。この光受容体には赤色光吸収型(Pr 型)と遠赤色光吸収型(Pfr 型)があり、種子の中で **エ** が増加するとジベレリンの合成が誘導され、光発芽種子の発芽が促進される。

問1 文中の **ア** , **イ** に当てはまる適切な語句を解答欄に記せ。

問2 下線部①に関して、植物の葉が生い茂った下では光発芽種子は発芽しにくい。このような発芽抑制を引き起こす光の特徴と、生い茂った葉を通ることによって光の特徴が変化する仕組みを、光合成色素の名称を1つ挙げながら、解答欄の枠の範囲内で説明せよ。

問 3 文中の **ウ** と **エ** に入る語句の組合せとして適切なものを  
(あ)～(か)の中から選び、解答欄に記せ。

- |               |           |
|---------------|-----------|
| (あ) ウ：フィトクロム  | エ：赤色光吸収型  |
| (い) ウ：フィトクロム  | エ：遠赤色光吸収型 |
| (う) ウ：フォトトロピン | エ：赤色光吸収型  |
| (え) ウ：フォトトロピン | エ：遠赤色光吸収型 |
| (お) ウ：クリプトクロム | エ：赤色光吸収型  |
| (か) ウ：クリプトクロム | エ：遠赤色光吸収型 |

問 4 森林に生育する野生の樹木の中にも、光発芽種子を持つものがある。そのような樹木の種子は、鳥が丸飲みのできる程度の大きさを持ち、周囲に果肉や油脂分に富んだ層を持つことが多い。このような種子の性状と光発芽という特性が結びつくことで、これらの樹木は生存上有利になっていると考えられる。その理由として考えられることを、これらの樹木が子孫を残しやすくなる環境条件を挙げながら、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6に答えよ。解答はすべて所定の解答欄に記入せよ。

(A) 新しく種が生じる過程には, 地理的隔離による種分化と, 地理的隔離を伴わない種分化がある。地理的隔離による種分化は, 異所的種分化ともいい, 生物集団が地理的に隔離されることで起こる。例えば, 1つの生物集団が複数の集団に地理的に分かれ, 互いに行き来がなくなるとする。地理的に隔離されたそれぞれの集団には, 独立に突然変異が生じ, 自然選択を受け, 様々な形質に差異が生じる。そのような集団どうしが再び出会っても交配できないとき, 両者の間には  が成立しているという。このとき, 両者はすでに種分化した別の種とみなすことができる。また, 自然選択とは無関係に, 偶然によって集団内の遺伝子頻度が変化することもあり, <sup>①</sup>これを  という。自然選択と同様に,  も種分化に寄与する要因である。

ある研究グループが, 世界中の様々な島において, 被子植物と陸産貝類(カタツムリなど)の種分化率(種分化の起こりやすさ)と島の面積との関係を調べた。文献データをもとに, 単一の祖先種に由来すると考えられる子孫が, 島内で複数の種に種分化しているかどうかを調べ, 島ごとに種分化率を算出し, 島の面積と比較した。図1にそれぞれの結果を示す。なお, 種分化率は, 0に近いほど種分化が起こりにくく, 1に近いほど種分化が起こりやすいことを示す。また, 種分化率に対する絶滅の影響は考えないこととする。

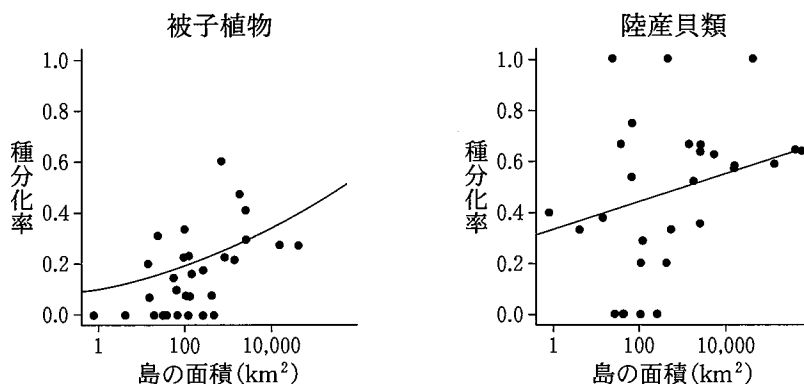


図 1

黒点は、島ごとの種分化率と島の面積を表す。実線は、種分化率と島の面積の間の相関関係を示したものである。(Kisel and Barraclough, 2010 の図を改変)

問 1 文中の ア , イ に当てはまる適切な語句を解答欄に記せ。

問 2 大陸から多数の個体が島に移動して形成された集団と、少数の個体が島に移動して形成された集団があるとする。集団の形成直後について着目すると、遺伝子プールの対立遺伝子頻度に関して、もとの大陸の集団との違いが大きくなりやすいのは、どちらの集団か。下線部①を参考にしながら、その理由も含め、解答欄の枠の範囲内で説明せよ。なお、個体の移動による大陸の集団の大きさの変化は、無視できるものとする。

問 3 図 1 を作成した研究グループは、陸産貝類の種分化が生じている島の最小面積が、被子植物のそれに比べて小さいことを指摘している。また、この図からは、被子植物の方が陸産貝類よりも、種分化率が低い傾向がみられる。このような種分化率の違いがみられる原因として考えられることを、被子植物と陸産貝類が個体の分布を広げたり、遺伝子の分布を広げる仕組みに着目して、解答欄の枠の範囲内で記せ。

(B) 生命が誕生する以前の有機物の生成・複雑化過程を化学進化と呼ぶ。RNA ワールド説によると、ごく初期の生命体では、RNA が遺伝と **ウ** の両方の役割を担っていたとされる。化学進化や生物の初期進化を支えた環境の1つとして、海底の熱水噴出孔があげられる。

現在でも暗黒・高圧の熱水噴出孔の周辺には、高温から低温まで多様な環境が形成され、独自の生態系が育まれている。その生態系では、酸化されやすい熱水成分<sup>②</sup>(例：硫化水素や水素)と還元されやすい海水成分(例：酸素や硝酸イオン)を反応させる化学合成独立栄養細菌が主要な生産者である。熱水噴出孔の近傍の高温環境からは、多様な **エ** が単離・培養されており、そのなかには、120℃を越えるような高温下でメタンを作りながら増殖するものも存在する。また、熱水噴出孔からさらに離れた低温の海底面には、化学合成独立栄養細菌を自身の細胞内に共生させる<sup>③</sup>チューブワーム(環形動物)やシロウリガイ(軟体動物)と呼ばれる、独自の進化を遂げた大型の生物が密集して生息している。そのような生物は、共生細菌からほぼすべての栄養を摂取しており、チューブワームは、特定の共生細菌を毎世代環境中から獲得する。一方、シロウリガイの共生細菌は、卵を介して親から子へ伝えられる。また、シロウリガイの共生細菌は、チューブワームの共生細菌と比べると、3分の1程度の遺伝子しか有していない。

問 4 文中の **ウ** , **エ** に当てはまる適切な語句を解答欄に記せ。ただし、**エ** にはドメインの名称を記せ。

問 5 下線部<sup>②</sup>で述べられている反応を利用して物質生産が行われる仕組みを、以下の4つの語句をすべて用いて解答欄の枠の範囲内で説明せよ。

炭酸同化, 水素イオン(H<sup>+</sup>)濃度勾配, 電子伝達系, ATP



問 6 下線部③で述べられている，細菌が宿主生物の細胞内に共生する現象は，熱水噴出孔以外の様々な環境でもみられ，宿主生物に新しい機能を付与するなど，生物進化の歴史を通して重要な役割を果たしてきた。チューブワームの共生細菌と比較して，シロウリガイの共生細菌だけを分離・培養することは，より難しいと考えられる。文章(B)に書かれた情報をもとに，その理由を解答欄の枠の範囲内で述べよ。

生物問題は，このページで終わりである。