

理 科

理科は **物理** **化学** **生物** のうち 2 科目を選択受験のこと。

物理 …… 1 頁 **化学** ……18 頁 **生物** ……28 頁

問題 **I** はマークシート方式, **II** は記述式である。

I の解答はマークシートに, **II** の解答は解答用紙に記入すること。

〔注 意 事 項〕

1. 監督者の指示があるまでは, この問題冊子を開かないこと。
2. マークシートは, コンピュータで処理するので, 折り曲げたり汚したりしないこと。
3. マークシートに, 氏名・受験番号を記入し, 科目選択・受験番号をマークする。マークがない場合や誤って記入した場合の答案は無効となる。

受験番号のマーク例(13015の場合)

受 験 番 号				
1	3	0	1	5
万位	千位	百位	十位	一位
○	○	●	○	○
●	①	①	●	①
②	②	②	②	②
③	●	③	③	③
④	④	④	④	④
⑤	⑤	⑤	⑤	●
⑥	⑥	⑥	⑥	⑥
⑦	⑦	⑦	⑦	⑦
⑧	⑧	⑧	⑧	⑧
⑨	⑨	⑨	⑨	⑨

4. マークシートにマークするときは, HB または B の黒鉛筆を用いること。誤ってマークした場合には, 消しゴムで丁寧^{ていねい}に消し, 消し^{ていねい}くずを完全に取り除いたうえで, 新たにマークし直すこと。
5. 下記の例に従い, 正しくマークすること。

(例えば 3 と答えたいとき)

正しいマーク例



誤ったマーク例



マークが薄い
マークが不完全
マークが○印
マークがV印

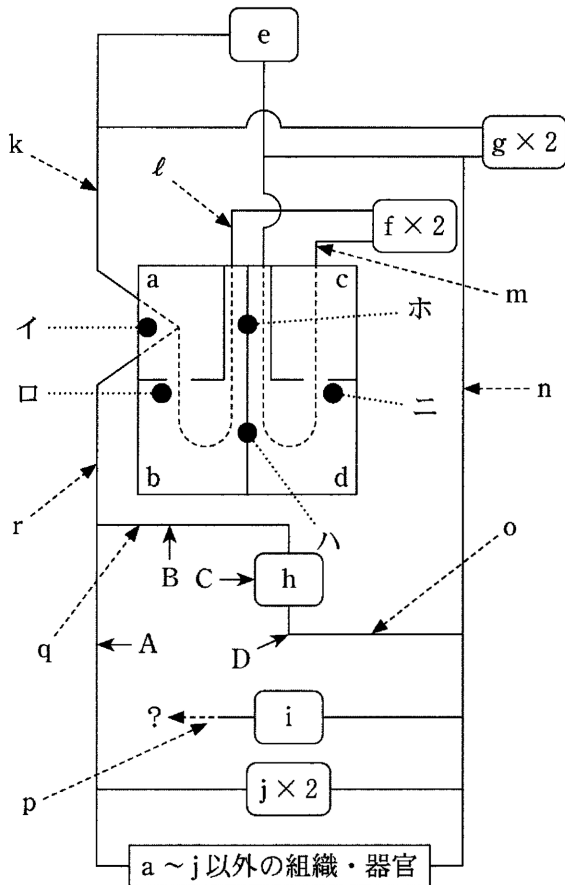
6. 各科目とも基本的に正解は一つであるが, 科目によっては二つ以上解答を求めている場合があるので設問をよく読み解答すること。
7. 解答は所定の位置に記入すること。

生 物

I

第1問 以下のヒトの循環系の図を参考に各問い(問1～5)に答えよ。

(解答番号 1 ~ 25)



注: × 2 の付いた器官 (f, g, j) は対で存在する。

問 1 図の a~j に最も適当な語を次の①~⑩のうちからそれぞれ一つずつ選べ。 1 ~

10

- | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|
| ① 肺 | ② 前肢 | ③ 頭部 | ④ 腎臓 | ⑤ 肝臓 |
| ⑥ 小腸 | ⑦ 右心室 | ⑧ 左心室 | ⑨ 右心房 | ⑩ 左心房 |

問 2 図の k~r の血管の名称として最も適当なものを, 次の①~⑩のうちからそれぞれ一つずつ選べ。 11 ~ 18

- | | | | | |
|--------|--------|-------|-------|-------|
| ① 上大静脈 | ② 下大静脈 | ③ 肺静脈 | ④ 肺動脈 | ⑤ 大動脈 |
| ⑥ 腎静脈 | ⑦ 腎動脈 | ⑧ 肝動脈 | ⑨ 肝静脈 | ⑩ 肝門脈 |

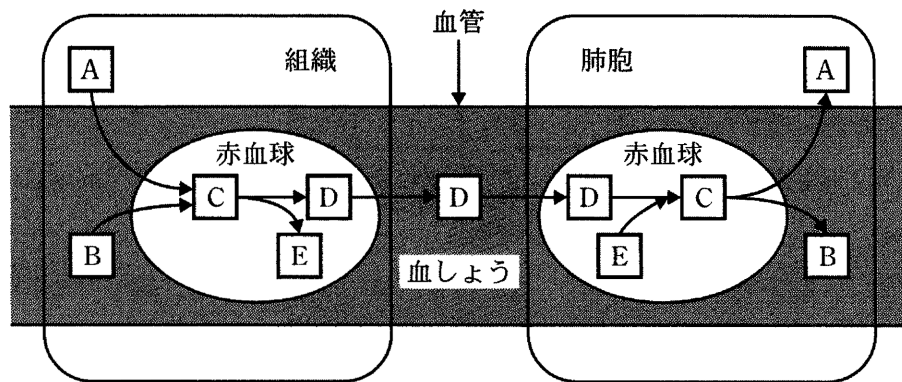
問 3 血管 p は図の A~D のどの箇所につながるか、最も適当なものを次の①~④のうちから一つ選べ。 19

- ① A ② B ③ C ④ D

問 4 心臓のペースメーカー(洞房結節)の存在場所は図のイ~ホのどこか、最も適当なものを次の①~⑤のうちから一つ選べ。 20

- ① イ ② ロ ③ ハ ④ ニ ⑤ ホ

問 5 以下の図は組織で生じた二酸化炭素(CO₂)の体外への放出を描いたものである。A~Eに最も適当な物質を、下の①~⑥のうちからそれぞれ一つずつ選べ。 21 ~ 25



- ① H⁺ ② H₂O ③ HCO₃⁻
 ④ H₂CO₃ ⑤ CO₂ ⑥ e⁻

第2問 免疫に関する以下の各問い(問1～5)に答えよ。〔解答番号 ～ 〕

ウイルスや細菌などの病原体に対する防御機構の一つである免疫には、,
, , 樹状細胞などの免疫細胞が関わっている。これらのうち,
, , 樹状細胞は、さまざまな異物を食作用で取り込むので食細胞ともよば
れている。大形の食細胞である は組織中に分布するほか、血液中では とし
て存在する。 は通常は血管内に存在し食細胞の中では最も数が い。
 は、自然免疫に大きくかかわる , 適応免疫(獲得免疫)ではたらくT細胞
とB細胞などに分類できる。さらにT細胞は、はたらき方の違いで , な
どに分類できる。後天性免疫不全症候群(AIDS)を引き起こすヒト免疫不全ウイルス(HIV)は、
 だけでなく などにも感染する。

問1 免疫に関する上の説明文の空欄ア～クに入る最も適切な語句を、次の①～⑬のうちからそ
れぞれ一つずつ選べ。 ～

- | | | |
|--------------------|-----------|----------|
| ① 上皮細胞 | ② マクロファージ | ③ 好中球 |
| ④ ナチュラルキラー細胞(NK細胞) | | ⑤ キラーT細胞 |
| ⑥ ヘルパーT細胞 | ⑦ リンパ球 | ⑧ マスト細胞 |
| ⑨ 単球 | ⑩ 赤血球 | ⑪ 粘膜 |
| ⑫ 少な | ⑬ 多 | |

問2 自然免疫による病原体などの排除のしくみを正しく説明したものを、次の①～⑥のうちか
ら二つ選べ。なお、解答は同一欄に二箇所マークすること。

- ① 病原体の成分を認識する受容体は、病原体の成分が持つ型(パターン)を認識できる。
- ② 病原体の成分を認識する受容体は、すべて細胞膜に存在する。
- ③ 病原体の成分を認識する受容体は、個々の細胞には一種類しか発現していない。
- ④ 受容体による病原体の成分の認識においては、RNA ウイルスの核酸はそのまま認識さ
れるが、DNA ウイルスでは転写されたRNAが認識に必要である。
- ⑤ は、病原体に感染した細胞の細胞質基質に存在する成分を認識する。
- ⑥ は、遺伝子変異で生じた変異タンパク質を発現する細胞を認識することがあ
る。

問 3 適応免疫のしくみについて正しく説明したものを、次の①～⑥のうちから二つ選べ。なお、解答は同一欄に二箇所マークすること。 10

- ① 免疫記憶は、細胞性免疫では機能するが体液性免疫では機能しない。
- ② ク による抗原タンパク質の認識には MHC クラス I 分子が、キ による抗原タンパク質の認識には MHC クラス II 分子が必要である。
- ③ 個々の T 細胞には、異なる可変部の構造を持つ複数種の T 細胞受容体が発現している。
- ④ キ による B 細胞の活性化には、B 細胞の MHC 分子を必要としない。
- ⑤ 活性化した ク による感染細胞の攻撃は、感染細胞の表面に提示された病原体由来のタンパク質断片の T 細胞受容体による認識がきっかけとなる。
- ⑥ B 細胞受容体による抗原の認識には、MHC 分子上への抗原の提示が必要である。

問 4 HIV 感染が引き起こす免疫不全についての説明で最も適当なものを、次の①～⑤のうちから一つ選べ。 11

- ① HIV は B 細胞にも感染して、B 細胞のはたらきに悪影響を与える。
- ② HIV は カ にも感染して、カ のはたらきに悪影響を与える。
- ③ HIV 感染でがんを発症しやすくなる理由は、感染した キ ががん細胞を攻撃しなくなるからである。
- ④ HIV は キ の機能の喪失を介して、ク のはたらきに悪影響を与える。
- ⑤ キ の機能の喪失には、HIV の ア への感染も必要である。

問 5 過敏な免疫反応の一つである「ぜんそく」は、実験動物であるマウスで引き起こすことができる。ぜんそくを誘導したマウスは、ぜんそくの治療法の研究に役立っている。ある研究者が、次の方法でマウスにぜんそくの誘導を準備し、下の実験 1～実験 4 を行った。この実験に関する(1)～(5)の各問いに答えよ。なお、これらの実験は、倫理委員会によって認められた実験計画に基づいてすすめた。麻酔を施すなど、動物愛護にも充分配慮した。

〔ぜんそくの誘導の準備〕

ニワトリの卵の卵白から調製したアルブミン(アルブミンは卵白に含まれるタンパク質の一種)を生理食塩水に溶解したもの(以下、アルブミン溶液)を用意した。マウスを「アルブミン群」と「食塩水群」の二つのグループに分け、アルブミン溶液を「アルブミン群」のマウスの腹腔内へ、生理食塩水を「食塩水群」のマウスの腹腔内へ、注射により投与した。この操作を 1 日目、8 日目、15 日目に行った。これらの処置を全く施していない群(以下「処置なし群」)も、用意した。以上の操作をしたマウスを、以下の実験 1～実験 4 に使用した。

〔実験1〕 「アルブミン群」と「食塩水群」の各々を「アルブミン吸入群」と「食塩水吸入群」とに分けた。「アルブミン吸入群」には、霧状にしたアルブミン溶液を呼吸により吸わせた。「食塩水吸入群」には、霧状にした生理食塩水を呼吸により吸わせた。この処置を22日目、23日目、24日目に行った。25日目にぜんそくの有無を観察した。結果は、次の表の通りになった。

	食塩水群	アルブミン群
食塩水吸入群	ぜんそく無し	ぜんそく無し
アルブミン吸入群	ぜんそく無し	ぜんそく有り

〔実験2〕 22日目に、「食塩水群」と「アルブミン群」のマウスから血清を回収し、この実験でのぜんそくに関わる抗原に反応する免疫グロブリン(IgE)濃度を測定した。比較のために、「処置なし群」の血清中の免疫グロブリン濃度も測定した。

〔実験3〕 22日目に、生理食塩水に溶解した標識アルブミン(特別な顕微鏡を用いると観察ができるアルブミン)を、「アルブミン群」のマウスの気管内へ管を挿入して注入した。その24時間後に気管とその周囲のリンパ節の顕微鏡観察用標本を作成し観察した。その結果、標識アルブミンがリンパ節の樹状細胞に集まっている様子が観察された。

〔実験4〕 22日目に、気管周囲のリンパ節の細胞を集めた。多数の免疫細胞を一度にまとめて解析できる装置を用いて、リンパ節に存在していたT細胞とB細胞の個数を調べた。比較のために、「処置なし群」のマウスのリンパ節中の免疫細胞も同様に解析した。

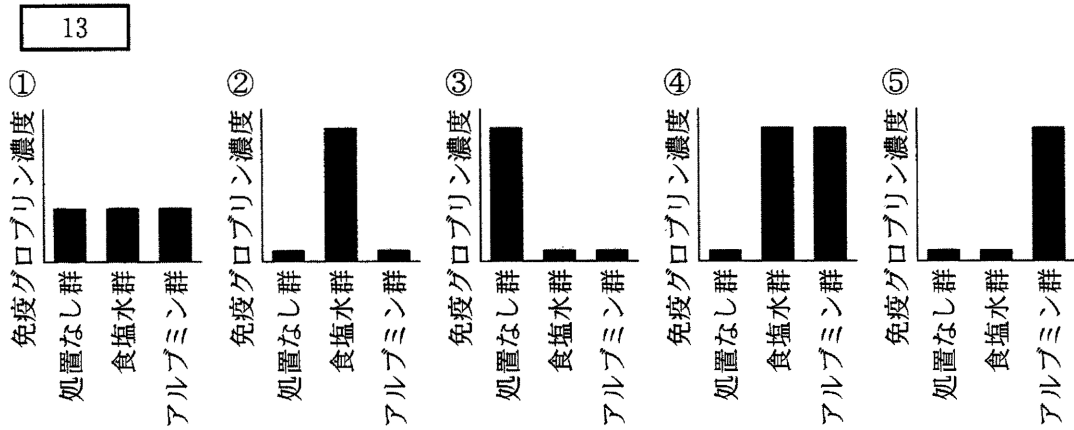
(1) 実験1の結果から導かれる考察として適当なものを、次の①～⑤のうちから二つ選べ。

なお、解答は同一欄に二箇所マークすること。

12

- ① 生理食塩水が抗原として機能した。
- ② アルブミンが抗原として機能した。
- ③ 生理食塩水とアルブミンがともに抗原として機能した。
- ④ ぜんそくの原因となる抗原に対する免疫記憶は、気管や肺が抗原にさらされた時だけ生じる。
- ⑤ ぜんそくの原因となる抗原に対する免疫記憶は、抗原にさらされた器官に関係なく生じる。

(2) 実験2の結果を示すグラフとして最も適当なものを、次の①～⑤のうちから一つ選べ。



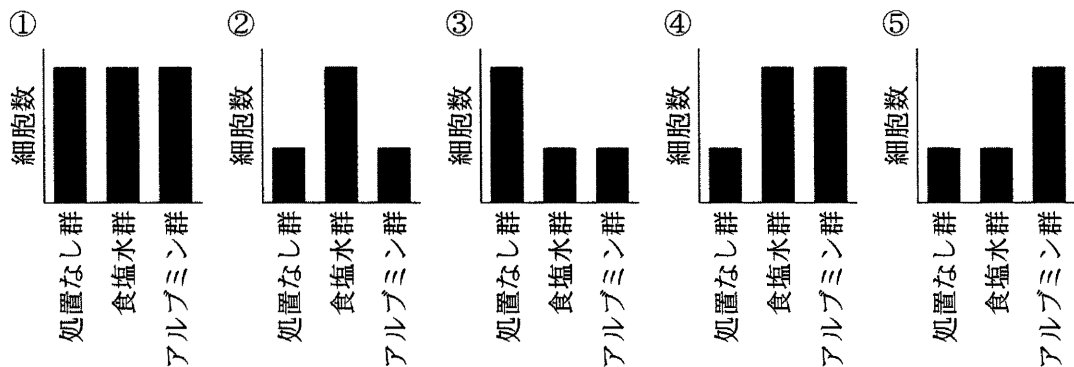
(3) 実験3に関して、標識アルブミンが集まっていた樹状細胞についての説明として最も適当なものを、次の①～⑤のうちから一つ選べ。

14

- ① リンパ節へ運ばれてきた標識アルブミンを、リンパ節にいた樹状細胞が取り込んだものである。
- ② 気管周辺で標識アルブミンを取り込んだ樹状細胞以外の食細胞がリンパ節へ移動してきたのち、もともとリンパ節にいた樹状細胞がそれらを取り込んだものである。
- ③ 気管周辺で標識アルブミンを取り込んだ樹状細胞がリンパ節へ移動してきたものである。
- ④ 腹腔内へ投与されたアルブミンを取り込んだ樹状細胞が生き残り、アルブミンの取り込み能力が向上したものである。
- ⑤ 腹腔内へ投与されたアルブミンを取り込んだ樹状細胞がリンパ節で生き残り、リンパ節へ運ばれてきた標識アルブミンを効率よく取り込んだものである。

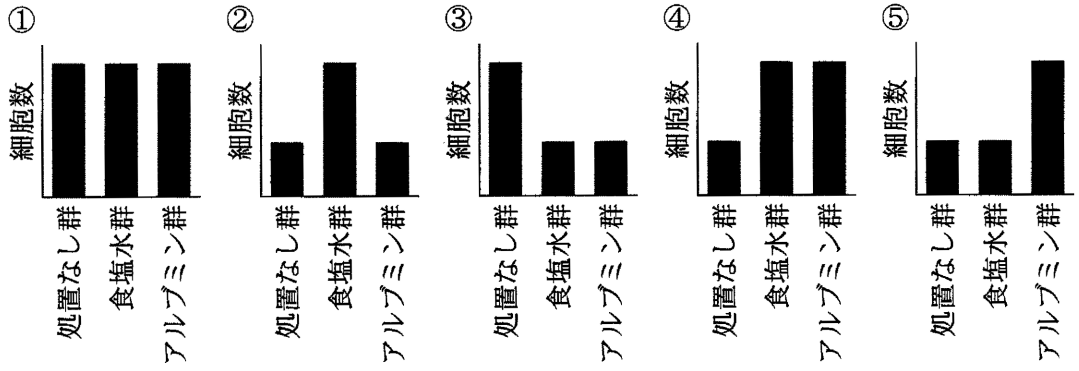
(4) 実験4で得られたT細胞の個数を示すグラフとして最も適当なものを、次の①～⑤のうちから一つ選べ。

15



(5) 実験4で得られたB細胞の個数を示すグラフとして最も適当なものを、次の①～⑤のうちから一つ選べ。

16



第3問 原核生物の発現調節に関する以下の各問い(問1～3)に答えよ。

(解答番号 ~)

転写は、DNAの とよばれる特定の塩基配列の部分に、 という酵素が結合することによって始まる。 周辺には があり、そこに が結合したり、外れたりすることで遺伝子の発現が調節される。原核細胞では、機能的に関連する複数の遺伝子が隣接して存在し、まとめて転写されることが多く、このような遺伝子群を という。 の が結合する は、 という。ラクトース の は、そのはたらきから ともよばれる。

大腸菌にとって必要なアミノ酸であるトリプトファン合成系は、次のように説明できる。細胞内のトリプトファン濃度が低いときは、 が不活性状態で、 に結合できず、トリプトファン合成に関わる酵素の遺伝子の転写が 。一方、細胞内のトリプトファンが過剰になると、 にトリプトファンが結合して活性化され、 に結合できるようになり、酵素の遺伝子の転写が 。

問1 空欄ア～キに最も適当な語を、次の①～⑫のうちからそれぞれ一つずつ選べ。

~

- | | | |
|-------------|-------------|-----------|
| ① 調節遺伝子 | ② オペロン | ③ オペレーター |
| ④ DNAポリメラーゼ | ⑤ RNAポリメラーゼ | ⑥ 調節タンパク質 |
| ⑦ 基本転写因子 | ⑧ プロモーター | ⑨ 転写調節領域 |
| ⑩ 構造遺伝子 | ⑪ アクチベーター | ⑫ リプレッサー |

問2 空欄A、Bにあてはまる語の組み合わせとして最も適当なものを、表の①～④のうちから一つ選べ。

	A	B
①	おこる	おこらない
②	おこる	おこる
③	おこらない	おこる
④	おこらない	おこらない

問 3 次の変異をもつ大腸菌 x ~ z に関して、以下の(1), (2)の各問いに答えよ。

x : とトリプトファンが結合できない変異株

y : とトリプトファンが結合していなくても に結合できる変異株

z : 活性化した が に結合できない変異株

(1) 大腸菌 x ~ z では、トリプトファン合成に関わる酵素の産生はどうか。最も適当なものを、次の①~④のうちからそれぞれ一つずつ選べ。同じものを何度選んでもよい。

~

- ① 細胞内のトリプトファン濃度の高低にかかわらず、酵素が産生される。
- ② 細胞内のトリプトファン濃度の高低にかかわらず、酵素は産生されない。
- ③ 細胞内のトリプトファン濃度が低いときは酵素を産生し、高いときは産生しない。
- ④ 細胞内のトリプトファン濃度が高いときは酵素を産生し、低いときは産生しない。

(2) 変異株 x ~ z に新たに遺伝子を導入したところ、正常にはたらく別の が生産されるようになった。x ~ z のトリプトファン合成に関わる酵素の産生はどのように変化するか。最も適当なものを、次の①~④のうちからそれぞれ一つずつ選べ。同じものを何度選んでもよい。 ~

- ① 細胞内のトリプトファン濃度の高低にかかわらず、酵素が産生される。
- ② 細胞内のトリプトファン濃度の高低にかかわらず、酵素は産生されない。
- ③ 細胞内のトリプトファン濃度が低いときは酵素を産生し、高いときは産生しない。
- ④ 細胞内のトリプトファン濃度が高いときは酵素を産生し、低いときは産生しない。

II 個体群に関する以下の各問い(問1～5)に答えよ。解答は記述式解答用紙に記入せよ。

本問では、まず被食者と捕食者の2種のみからなる生態系のふるまいに関して、数式とグラフを使って考える。続いて、この生態系へのヒトの介入の影響を考察する。最後に、捕食者が絶滅した後の被食者の個体数の変化について考える。

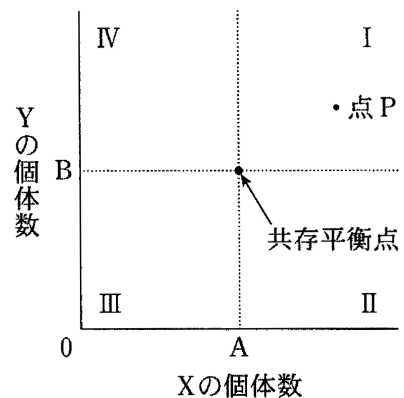
ある生態系での時刻 n における、単位面積あたりの被食者および捕食者の平均個体数(つまり個体群密度)を X_n, Y_n (n は 0 または自然数)として、時刻 n から $n + 1$ での変化を以下の数式であらわすことにする。なお、被食者の栄養源は無限にあるものとする。

$$X_{n+1} - X_n = rX_n - aX_nY_n \quad (\text{初期値 } X_0) \quad \text{式1}$$

$$Y_{n+1} - Y_n = bX_nY_n - cY_n \quad (\text{初期値 } Y_0) \quad \text{式2}$$

式1では、被食者の平均的な増加率(出生率, 生存率, 自然な死亡率などを総合したもの)を r ($r > 0$), 捕食される確率を a ($a > 0$)とした。親の死亡がなく, 親と同数の子供が生まれ, その全てが育つ場合は $r = 1$ となる。式2では、捕食者は、被食者に出会ってこれを食べることで栄養を得て増殖すると考え、その総合的な効率を b ($b > 0$), 捕食者の自然死亡率を c ($c > 0$)とした。なお、計算の結果として X や Y が負の値になる場合は 0 (死滅)をあてはめることとする。

ここからはグラフも用いて考えていく。まず、式1, 2がともに0の場合を考えてみると、グラフ上に該当する点は2つある。1つは点(0, 0)で、被食者も捕食者も死滅した状態をあらわしている。もう1つは点(,)で、グラフ上では2つの点線の交点にあたる。いったん式1, 2が0になってしまうと、以降は被食者にも捕食者にも個体数の変化はなくなる。そこで、点(,)のことを共存平衡点とよぶことにする。



時刻 n での被食者および捕食者の個体数を点 P のようにグラフ上にあらわし、これが時間経過に伴って描く軌跡を追うことで、被食者および捕食者の個体数の移り変わりの全体像を推測できる。長期間にわたって被食者も捕食者も絶滅することなく存続する生態系では、軌跡はある一定の方向性をもって共存平衡点の周辺を回る、外に凸な閉曲線になる注。つまり、点 (X, Y) は一定の時間間隔(周期 T)で点 P に戻ってくる。

注：式1, 2では、時刻 n を第 n 回目の繁殖期などと読み替えて考えられるように、 n を 0 または自然数としたが、本来は負数も含めて連続的なものとして扱うことができる。このため軌跡は連続的になめらかな実線で描くことができる。

以上を踏まえて、次に、たとえば食用の捕獲など、ヒトによる介入が長期的にこの生態系に及ぼす影響を考える。捕獲される率をそれぞれ $e (e \geq 0)$, $f (f \geq 0)$ とすると、式 1, 2 は以下のように書き直せる。

$$X_{n+1} - X_n = rX_n - aX_nY_n - eX_n \quad (\text{初期値 } X_0) \quad \text{式 3}$$

$$Y_{n+1} - Y_n = bX_nY_n - cY_n - fY_n \quad (\text{初期値 } Y_0) \quad \text{式 4}$$

長期間にわたって被食者も捕食者も絶滅することなく存続する生態系では、それらの個体数の長期的な視点での平均値は、点 (X, Y) の軌跡の形や初期値によらず、共存平衡点と一致することがわかっている。このことから、式 3, 4 がともに 0 である場合を調べることで、ヒトによる介入がこの生態系に長期的にどのような影響を及ぼすかを推測できる。

最後に、式 1, 2 に基づいて、何らかの原因で捕食者だけが死滅してしまった後の被食者の個体数の変化について考える。式 1 に $Y_0 = 0$ をあてはめて時間経過を追って計算すると、被食者の個体数は無限に増加する。しかし、実際の生態系では 個体数が増えるにしたがって個体群の成長を抑えるはたらき(環境抵抗)も大きくなるため、個体数が無限に増加するとは考えにくい。そこで、式 1 では定数とした増加率 r に代わって、被食者の個体数に応じて変化する増加率 R を考える。被食者の個体数と R との関係式にはさまざまなものが考えられるが、ここでは単純な例として式 5 を考えてみる。

$$R = r - hX_n \quad \text{式 5}$$

式 5 では環境抵抗を $h (h > 0)$ であらわした。子孫が全く生まれず、それまで生存していた個体が全て死滅する場合は $R = -1$ となる。式 1 の r の代わりに式 5 の R を使い、 $Y_0 = 0$ とすることで、式 6 が導かれる。

$$X_{n+1} - X_n = (r - hX_n)X_n \quad (\text{初期値 } X_0) \quad \text{式 6}$$

式 6 = 0 となる正の X_n は、 $X_n = \frac{r}{h}$ である。これは、被食者の個体数が $\frac{r}{h}$ になると、それ以降は個体数の変化がなくなることを示している。この値を $K (K > 0)$ として式 6 を変形したものが式 7 である。

$$X_{n+1} - X_n = r \left(1 - \frac{1}{K} X_n\right) X_n \quad (\text{初期値 } X_0) \quad \text{式 7}$$

式 7 から、 $X_n > K$ ならば $X_{n+1} < X_n$ となり、 $X_n < K$ ならば $X_{n+1} > X_n$ となることがわかる。

問 1 空欄 A, B に最も適当な文字式を入れよ。

問 2 下線部 1 について、以下の(1), (2)の各問いに答えよ。

- (1) 領域 I に関して解析した下の文の空欄 C, D に最も適当な記号(等号や不等号など)を入れよ。また、空欄 E に軌跡の方向性をあらわす最も適当な語句を入れよ。

領域 I 内で, $P(X_n, Y_n)$, $Q(X_{n+1}, Y_{n+1})$ を考える。共存平衡点からの X 軸方向, Y 軸方向へのずれを, それぞれ a および β ($0 < a$, $0 < \beta$) とすると, 点 P は ($\boxed{A} + a_n$, $\boxed{B} + \beta_n$) とあらわされる。これを式 1, 2 の右辺に代入すると, この領域内では X, Y, a , β , a , b は全て正の数なので, 常に $X_{n+1} \boxed{C} X_n$ および, $Y_{n+1} \boxed{D} Y_n$ が成り立つことがわかる。念のために, 式 1, 2 の左辺を a , β を使って変形し, 領域 I に点 Q も存在することを考慮すると, $a_{n+1} \boxed{C} a_n$ および, $\beta_{n+1} \boxed{D} \beta_n$ も成り立っていることがわかる。つまり, 領域 I 内では時間経過に伴って点 (X, Y) の軌跡は \boxed{E} になる。領域 II ~ IV についても同様に解析でき, 全体としても \boxed{E} の軌跡を描くことがわかる。

- (2) 円形の軌跡を具体例として考える。問 2(1)も参考にして, 下の文の空欄 F に最も適当な語句を, 空欄 G に最も適当な文字式を入れよ。

個体数が最大になるタイミングを比較すると, 被食者の方が捕食者よりも \boxed{F} 。また, そのタイミングのずれを文字式であらわすと \boxed{G} となる。

問 3 下線部 2 について, 式 3, 4 を利用して, 空欄ア, イに最も適当な語句をそれぞれ記入せよ。

捕食者を鳥, 被食者を害虫とした生態系を考える。ある殺虫剤を 1 回散布すると, 害虫の増加率を半減させるが, 鳥には無害である。この殺虫剤を長期間使用しつづけた時に, 鳥と害虫の 2 種のみから成るこの生態系には以下の変化が生じる。

鳥の個体数は $\boxed{ア}$ 。害虫の個体数は $\boxed{イ}$ 。

問 4 下線部 3 について, 以下は環境抵抗の典型的な要因である。空欄ウ, エに最も適当な語句をそれぞれ記入せよ。

- ① 食物の不足
- ② $\boxed{ウ}$ による環境の悪化
- ③ $\boxed{エ}$ が引き金となるホルモンによる生殖抑制
- ④ 個体の移動

問 5 下線部 4 について, K はこの生態系に関して何を示しているか。漢字 5 文字で答えよ。

