三重大学

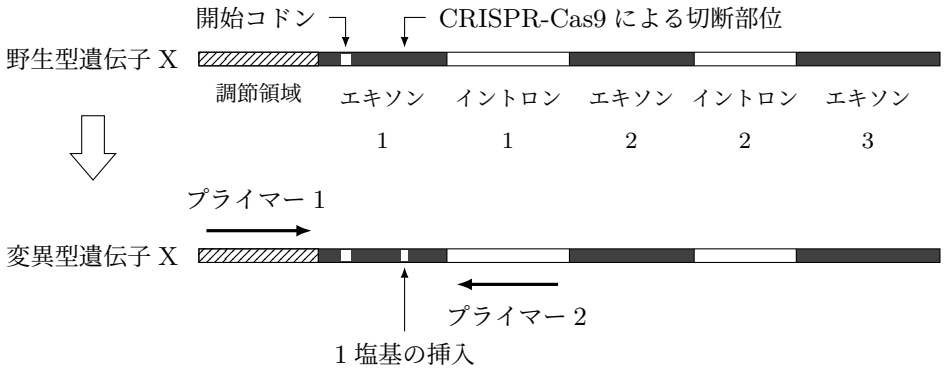
2022 年度　前期日程　生物

（2 科目　150 分）

1 次の文章を読み，**問 1**〜**問 5** に答えよ。

ある特定の遺伝子の生体内での働きを調べる場合，遺伝子改変技術を用いることでその遺伝子を実験動物のゲノムに外来遺伝子として導入したり(a)，働かなくさせたりすることができる。その結果，生物に起こる現象を観察することで，その遺伝子の機能を推測することが可能となる。近年，これらの遺伝子改変技術に大きなブレイクスルーがあった。元々は細菌の免疫機能の研究からみつかったこの技術は，ゲノム編集と呼ばれている。その技術の一つである CRISPR-Cas9 は既存の遺伝子改変技術に比べて高精度かつ簡便であるため，現在の医学・生物学研究になくてはならないツールとなっている。CRISPR-Cas9 は DNA の任意の場所で二本鎖を切断することができ，切断された DNA が修復される際に塩基の挿入，欠失，置換が起こるため，遺伝子の改変が可能となっている。

この技術を用いて遺伝子 X の機能を調べるため，マウスを使って以下の図のような遺伝子改変実験を行った。



遺伝子 X について，マウスゲノム上のエキソン 1 にある開始コドンの 3′ 側に標的配列を設定し，CRISPR-Cas9 による遺伝子改変を行った。変異が導入されたマウスのゲノム DNA を抽出し，エキソン 1 と隣接する調節領域およびイントロン 1 上の配列のプライマー 1，2 を用いて PCR 法により DNA の増幅を行った。増幅された遺伝子の塩基配列を調べてみると(b)，CRISPR-Cas9 の標的部分に 1 塩基の挿入がみられた(c)。この遺伝子改変マウスは野生型と比べて顕著な表現型を示したことから，遺伝子 X の機能喪失が起きていると考えられる。

次に，この遺伝子 X のタンパク質の機能を調べるため，タンパク質合成および精製の実験を行った。野生型マウスの細胞から［（ア）］を抽出し，［（イ）］を用いて cDNA を合成した(d)。さらに合成された cDNA は［（ウ）］耐性遺伝子をもつベクターに組み込んだ後に［（エ）］に形質転換により導入した。さらに［（エ）］を［（ウ）］を含む培地中で増やした後，遺伝子 X の cDNA の発現を誘導する薬剤を加えてさらに培養した。培養後［（エ）］を回収し，遺伝子 X のタンパク質を精製した。

問 1　下線部 (a) のような遺伝子改変を行ったマウスの名称を答えよ。

問2　下線部 (b) について，知りたい DNA 配列を A，T，G，C の 4 種類のジデオキシリボヌクレオチドにそれぞれ違った色の蛍光色素をつけたものを用いて PCR 法により増幅させ，レーザー光により塩基配列を調べる手法の名称を答えよ。

問3　下線部 (c) について，ゲノム編集によるたった 1 塩基の挿入で遺伝子そのものの機能が喪失してしまう理由について，以下の 2 つの単語を用いて 50 字以内で説明せよ。
［翻訳］，［コドン］

問4　(ア) ～ (エ) に入る語句を，以下の語群から選べ。
ヌクレアーゼ，バクテリオファージ，ゲノム DNA，アンピシリン，rRNA，mRNA，tRNA，大腸菌，ミトコンドリア，葉緑体，制限酵素，逆転写酵素，DNA ポリメラーゼ，RNA ポリメラーゼ，ヘリカーゼ，インスリン，ガラクトシダーゼ

問5　下線部 (d) について，この cDNA に対して図に示したプライマー 1，2 を用いて PCR を行ったところ，DNA の増幅はみられなかった。この原因について 50 字以内で説明せよ。

2 次の文章を読み，問 1～問 8 に答えよ。

有性生殖では，2 つの配偶子の融合により，染色体の新しい組み合わせを持つ個体が作られる。これら配偶子の融合は一般に (ア) と呼ばれる。脊椎動物などでは，大型で運動性のない雌性の卵と，小型で運動性のある雄性の精子と呼ばれる配偶子が融合し，この場合の (ア) は特に受精と呼ばれる。

ヒトの卵の形成過程では，生殖細胞は胎生期に体細胞分裂をして多数の卵原細胞を卵巣内に作る。この細胞の一部は栄養分を蓄積して大型化した (イ) となり，胎生期に減数分裂に入る。ついで，排卵の直前に減数分裂の第一分裂が完了する。排卵後は，減数分裂の第二分裂の途中で停止しており，この際，精子が侵入すると第二分裂を再開する。

また，配偶子形成過程では，染色体の分離 (a) にくわえて，減数分裂の第 (ウ) 分裂時に，染色体の乗換えという物理的な現象が起こる。これは遺伝学上の組換えという現象につながり，結果，形成される配偶子の多様性をさらに生み出している。

一方，受精卵は卵割を繰り返し，やがて胚盤胞と呼ばれる内部に空間を持つ胚構造を示す。この空間を覆う細胞層を (エ) と呼び，着床すると (オ) などの胚体外組織が形成される。一方，空間内部の細胞集塊を内部細胞塊と呼び，胚そのものが形成される。また，内部細胞塊を人工的に取りだし，多分化能を維持したままの状態で樹立された細胞株は一般に，(カ) と呼ばれる。

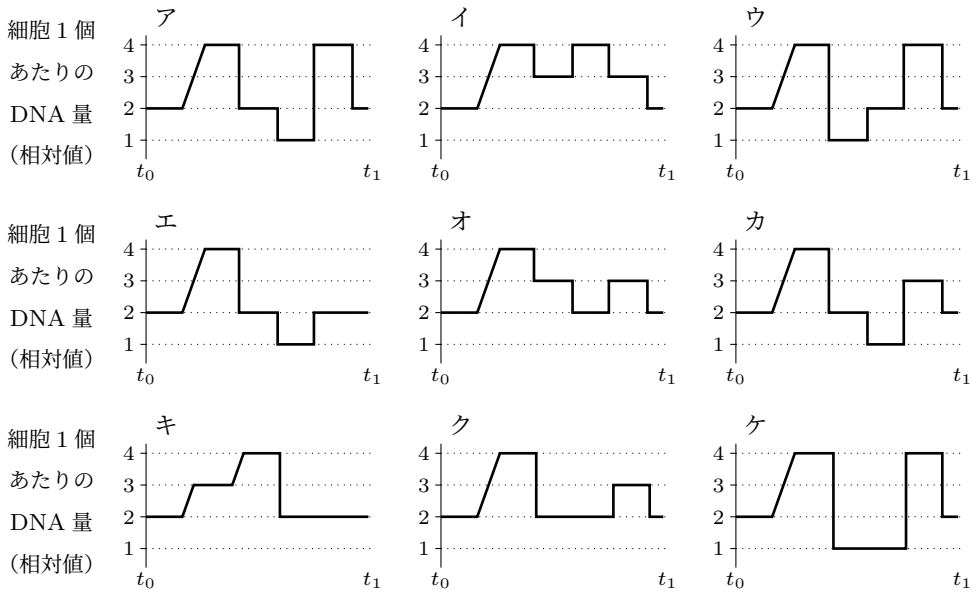
問1　(ア) ～ (カ) に当てはまる適切な語句を答えよ。

問2　下線部 (a) について，2n = 8 の生物の場合，つくられる配偶子における染色体の組み合わせは，何通りあるか。(A) 乗換えがまったく起こらない場合，および (B) 各染色体 1 ヶ所の特定の座位で乗換えが起こる場合をそれぞれ答えよ。

問3　下線部 (a) に関連して，マイクロサテライトは，数塩基の単位配列の反復からなり，特定の座位において個体ごとに固有の反復回数を持ち，家系解析や個人識別にしばしば利用される。いま，ある常染色体の特定のマイクロサテライト座位において，2 人の兄弟の繰り返し数を解析したところ，兄が 5 回と 15 回，弟が 10 回のみであった。この兄弟の両親それぞれの繰り返し数の組み合わせを，例にならって答えよ。ただし，母と父の区別はしなくてよい。

例：(4 回と 5 回）および（6 回と 7 回）

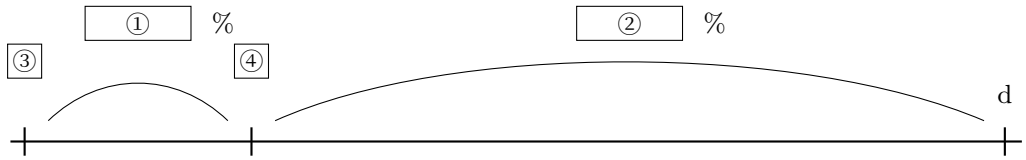
問4　ヒトやマウスなどの哺乳類における，生殖細胞から受精卵に至る過程での細胞 1 個あたりの DNA 量の経時変化を考えたい。(A) 卵からみた場合，および (B) 精子からみた場合，のそれぞれについて，適切なものを下図のア〜ケから選び，記号で答えよ。ただし，t_0 は生殖細胞が減数分裂に入る直前，t_1 は受精後の卵割直前の時相とし，各時間軸の尺度は見やすいように調整してある。



問5　マウスのある遺伝子 A，B，D は同一の常染色体上に位置し，遺伝子 a，b，d をそれぞれ，A，B，D の対立遺伝子とする。いま，遺伝子型 AABBDD と，aabbdd の個体を交配させ，F_1 を得た。続いて，雄 F_1 から精子を単離し，遺伝子型を判定したところ，各遺伝子型とその精子数に関し下の表が得られた。

ABD	ABd	AbD	Abd	aBD	aBd	abD	abd	総数
374	96	26	4	6	24	94	376	1,000

上記結果を用いて，下記の染色体地図（遺伝学的地図）を完成させよ。ただし，①と②には組換え価（%）が，③と④には a，b のいずれかが入る。

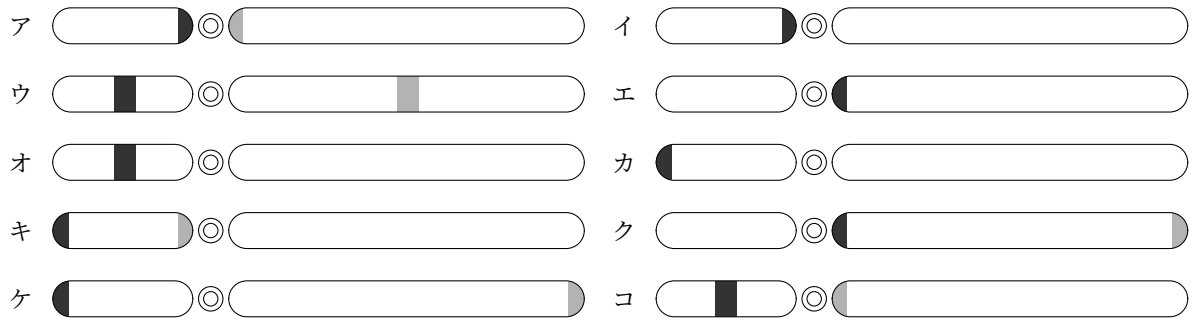


問 6　排卵誘発剤を使用して雌 F_1 個体から多数の卵を採取し，問 5 と同様に各遺伝子型の細胞数を計測したところ，問 5 図中の①と②の和が，精子のそれの約 1.3 倍であった。卵形成と精子形成過程のどのような違いが原因と考えられるか，50 字以内で答えよ。

問 7　ヒトのダウン症候群の大部分は，生殖細胞のある段階の分裂の際に，染色体が誤って不均等に娘細胞に分配される不分離という現象が原因となり，結果，21 番染色体が 1 本多い状態となっている。また，ダウン症候群の出生頻度は，出産時の母体年齢と正の相関があることが分かっている。それでは，この不分離の発生頻度は，どの段階の時間伸長と関連があると推定されるか，以下のア～クから最も適切なものを 1 つ選び，記号で答えよ。

ア　受精卵から桑実胚に至る体細胞分裂
イ　桑実胚から胚盤胞に至る体細胞分裂
ウ　精原細胞の体細胞分裂
エ　精子形成過程の減数第一分裂
オ　精子形成過程の減数第二分裂
カ　卵原細胞の体細胞分裂
キ　卵形成過程の減数第一分裂
ク　卵形成過程の減数第二分裂

問 8　ヒトの減数第一分裂では，22 対の相同染色体同士は対合するが，構造が異なる X 染色体と Y 染色体はこのときどのような挙動を示しているのだろうか。実はこれら性染色体は，偽常染色体領域（pseudoautosomal region）という相同配列間で対合し，同部で乗換えを行うが，これら乗換えにても各々の性染色体の固有構造は保持されることが分かっている。理論上，偽常染色体領域は性染色体のどこに位置しているべきか，下図のア～コから適切なものを 2 つ選び，記号で答えよ。ただし，黒色ないし灰色部を偽常染色体領域，◎を動原体が形成される部位，白色部を各々の性染色体固有の領域とし，いずれの性染色体にも偽常染色体領域は同じパターンで位置するものとする。



3 次の文章〔A〕，〔B〕を読み，**問 1**～**問 6** に答えよ。

〔A〕

1920 年ごろ，アメリカ農務省の Garner と Allard はダイズの晩生品種 Biloxi を，春から夏にかけて時期をずらして播種を行う栽培実験を行った。ダイズは生育期間の長短に関わらず，いずれの時期に播種した個体も 9 月初旬にほぼ同時に開花した。このことから，彼らは花芽の形成には日長が重要であることに気づき，［（ア）］という現象を発見した。

その後，多くの研究から［（ア）］において花芽の形成に必要なことは，日長ではなく，連続した暗期の長さであることがわかった。

暗期が一定の時間より長くなると花芽を形成する植物を［（イ）］という。一方，暗期が一定の長さより短くなると花芽を形成する植物を［（ウ）］という。花芽を形成するかしないかの境界となる暗期の長さを［（エ）］という。［（エ）］の長さは植物によって異なることが知られている。また，［（イ）］において，［（エ）］の途中で光を照射すると暗期の効果が失われ，花芽は形成されない。そのような効果をもつ光処理を［（オ）］という。有効な光処理の時間は光の強さにより変動する。

問 1　本文中の［（ア）］～［（オ）］に当てはまる適切な語句を答えよ。

問 2　植物のなかには，日長と関係なく花芽を形成するものも存在する。これらの植物を何というか答えよ。

問 3　重陽の節句のころに開花するキクを，植える時期を変えずに，需要の多い時期の一つである年末に咲かせるためにはどうすればよいか，その方法について 40 字以内で答えよ。

問 4　九州南部のトウモロコシ―コムギ二毛作地帯で夏の終わりに防犯上の理由で街灯が新たに設置された。その後に播種されたコムギの生育にどのような影響があるか 40 字以内で答えよ。

〔B〕

かつては，稲作において健全な苗を育てるために，竹竿を使って朝露を払うという技術があった。苗床でこの作業を行うことにより，苗の徒長を防ぎ，がっちりとした良い苗が育った。また，除草や防虫のため水田にアイガモを放飼する農法があるが，アイガモが泳いでいるときにイネと触れたり，株元をつつくことで，イネの草姿がずんぐり型に変化することが報告されている。これらの現象はある植物ホルモンによる形態変化の例として知られている①。

一方，バナナは日本で広く流通している果物であるが，多くは海外から輸入されている。生産地に生息する害虫や病気が日本に侵入するのを防ぐため，熟した果物を持ち込むことは植物検疫の観点から認められていない。そのため輸入業者は未熟で緑色のうちに房ごとバナナを収穫して日本へ輸送する。日本へ到着後には室（むろ）に入れて，ある植物ホルモン②による処理を行う。その後，バナナは国内を流通して消費者へ届くことになる。

問5　下線部①の現象に関する植物ホルモンを具体的に記し，その作用を 30 字以内で答えよ。

問6　下線部②で処理する植物ホルモンを具体的に記し，その作用を 20 字以内で答えよ。

4 次の文章を読み，**問 1**〜**問 3** に答えよ。

生物種の進化をもたらす外的要因は環境である。個体群の中では，環境への適応度が高い個体の形質が選択されて次世代以降に受け継がれている可能性が高い。これが［ ① ］以来の［ (ア) ］説の考え方である。形質を決定する内的要因は遺伝子であり，その多様性を生み出す源は突然変異の蓄積や交配によるその攪拌（かくはん）であるから，生存や繁殖に有利な変異が選択されて遺伝しているともいえる。

20 世紀後半になると，こうした考え方では説明ができない突然変異が，DNA の塩基配列やタンパク質のアミノ酸配列などの分子レベルでは存在することが次第に分かってきた。そこで［ ② ］は，分子レベルでの変異は［ (ア) ］に対して有利でも不利でもないものが大部分であること，こうした変異の個体群内での動態は偶然による選択，つまり［ (イ) ］の影響を受けることを含む［ (ウ) ］説を提唱した。これに影響を与えたのが分子時計(a)という考え方である。［ (ウ) ］説も分子時計も，分子生物学の発展などに伴い検証が加えられてきた。

もし，新しく生じた変異が生存や生殖に有利であれば［ (ア) ］により，異性による選り好みで有利であれば［ (エ) ］により，個体群の次世代以降に引き継がれる。変異が不利であれば排除される。有利でも不利でもない，つまり［ (ウ) ］な変異の場合は［ (イ) ］の結果として引き継がれたり排除されたりする。多くの場合，生じる変異はこの［ (ウ) ］なものが多いとされる。［ (ウ) ］な変異が個体群中にある程度固定されて遺伝的多様性が高まり，環境が変動した際にはそれに適した個体が次世代を多く残し，結果的にその環境に適応する，すなわち進化の原動力になると考えられる。

個体群が大幅に小さくなる場合を考えると，［ (オ) ］効果により［ (イ) ］の影響が大きくなり，遺伝的多様性が低下しやすくなる。残った個体群の遺伝子構成は元の群のそれと大きく異なる場合があり，進化を加速させる可能性が考えられる。一方で，環境の変化や病原体に対して適応的な形質をもつ個体を生じる可能性が低下し，個体群が更に小さくなる［ (カ) ］の渦と呼ばれる現象に陥る可能性も考えられる。

このように［ (ア) ］説と［ (ウ) ］説は，互いに生物種の進化についての考え方を補完するものであるといえる。

問1　［ (ア) ］〜［ (カ) ］に当てはまる適切な語句を答えよ。

問2　［ ① ］，［ ② ］に当てはまる適切な人名を答えよ。

問3　下線部 (a) は，「一般に，DNA の塩基配列やタンパク質のアミノ酸配列には，時間が経つにつれ変異が蓄積される」という考え方である。これに関連して以下の文章を読み，(1)〜(4) に答えよ。

次の表は，ある酵素タンパク質 A を指定する DNA の塩基配列の開始コドンから終止コドンまでを 6 種類の生物で比較して，異なっていた塩基の数を示したものである。比較に用いた配列の長さはいずれも 792 塩基とする。6 種類の生物において，

・酵素タンパク質 A は同じ働きをもつ

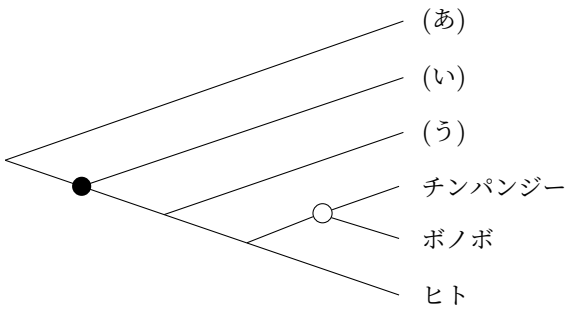
・塩基に変異が生じる速度は一定である

・一度変異した塩基がさらに変異することはない

として分子系統樹を描くと次ページの図のようになる。ただし，表に示した塩基の数は，分子系統樹の枝の長さには反映されていない。

表

	生物種 P	ヒト	生物種 Q	チンパンジー	生物種 R
生物種 P	—	—	—	—	—
ヒト	93	—	—	—	—
生物種 Q	181	175	—	—	—
チンパンジー	95	7	173	—	—
生物種 R	136	132	196	130	—
ボノボ	95	7	172	2	130



図

(1) 表中に P〜R の記号で示した生物種は図中の (あ)〜(う) のどの枝に位置するか，それぞれ記号で答えよ。ただし，同じ記号を 2 か所以上に記入してはならない。

(2) 図において，(い) に当てはまる生物種と，ヒトに至る祖先種とが，それらの共通祖先である●から分かれたのは，化石記録をもとに 7500 万年前とする。この場合，○で示したチンパンジーとボノボの共通祖先から

それぞれが分かれたのは何万年前と推定されるか答えよ。必要な場合は千の位以下を四捨五入し，解答欄の単位に合わせて整数で答えよ。

(3) 遺伝子の進化速度を，1 年間に DNA の塩基配列中のある 1 か所に変異による置換が生じる頻度（塩基/年）と定義する。ヒトと●との関係から，酵素タンパク質 A 遺伝子の進化速度を求めよ。解答は有効数字 3 桁の指数表記（例えば 3.14×10^{-3}）で記入せよ。

(4) 酵素タンパク質 A 遺伝子の偽遺伝子（元の遺伝子から重複によって生じたと考えられるが，実際には機能していないもの）が別の染色体上にあるとする。問題本文中の［（ウ）］説に基づくと，この偽遺伝子の進化速度は，元の遺伝子のそれと比べてどうなると予想されるか。簡潔に答えよ。

5 次の文章を読み，**問 1**〜**問 5** に答えよ。

個体群を構成する個体の数の変動を個体群動態と呼ぶ。環境が一定で個体がある一定の割合で子供を生み，死亡率も一定である場合，個体数は指数関数的に増加する。一方で増加率が個体数に従って変化し，個体数の増加に伴い［（ア）］する場合，個体数は［（イ）］と呼ばれるある一定の数に漸近する。

二種の個体群が互いに同じ資源を利用する場合，［（ウ）］が起きる。その結果として片方の種が著しく個体数を減少させることを［（ウ）］的［（エ）］と呼ぶ。

食う食われるの関係にある二種の個体群が同じ場所に生息している場合，互いに自種の個体数が他種の個体数の増加率に影響する。両者が共存する場合，両種の個体群動態の間に［（オ）］があるため，個体群動態に振動が生じる。というのも，［（オ）］が存在する場合，被食者の個体数が増減した結果，捕食者が増減するには，捕食者側の生活史に応じた間隔が開くためである。

こういった個体群動態を考える上で適応度の概念は重要である。適応度とはある個体がその生涯で生んだ子供のうち，次世代の繁殖年齢まで生き残った個体数で定義できる。

問 1　［（ア）］〜［（オ）］に当てはまる適切な語句を答えよ。

問 2　一般に［（ウ）］が強くなるのはどのような時か。各生物が生態系で占める位置に注目して 20 字以内で説明せよ。

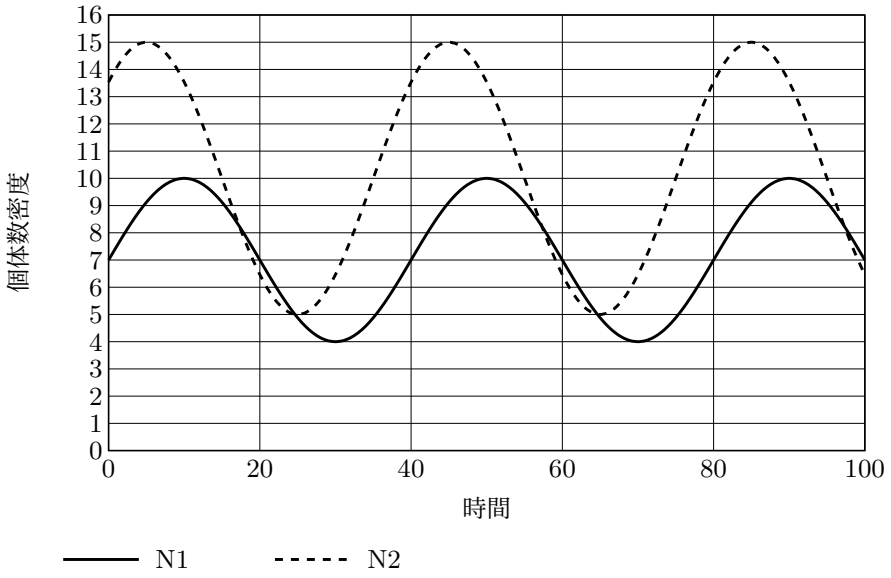
問 3　いま，1 個の大腸菌があり，制約がなければ 1 分間で a 倍（$a > 0$）に増えるとする。次の (1)〜(3) に答えよ。

(1) 制約がない場合，5 分後に 243 個に増えるとする。この場合の a の値を答えよ。

(2) (1) の増加率で最初の個体数が a の場合，何分後に 243 個体となるか答えよ。

(3) (1) の増加率で大腸菌の数が 10,000 個を超えるのは何分後か答えよ。

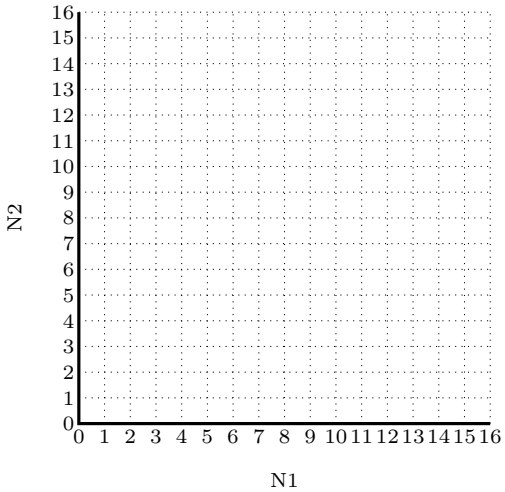
問4　食う食われるの関係にある種 1 と種 2 の個体群動態が下図であったとする。なお，N1，N2 はそれぞれの種の個体数密度とする。次の (1)，(2) に答えよ。



(1)　種 1 と種 2 のどちらが被食者と考えられるか。また，その理由を 30 字以内で説明せよ。

(2)　個体数密度変動の図に基づき，N1 を横軸，N2 を縦軸として図示し，時間経過の進行方向を矢印で加えよ。

（注）解答欄には次の方眼が与えられている。



問5　次の (1), (2) に答えよ。

(1) 性比がオス：メス $= p : 1-p$ とする。成熟するまでの生存率がオス・メスで変わらず，無作為に交配する場合，オスはメスの何倍の適応度を持つと考えられるか答えよ。

(2) ロナルド・フィッシャーは子を育てるコストや生存率がオス・メスで同じ場合，十分な時間が経つと $p = (1-p)$ の状態になるとした。以下の文章は $p \neq (1-p)$ の状態から $p = (1-p)$ の状態に変動する過程を説明するものである。[(カ)] ～ [(サ)] に当てはまる適切な語句を，それぞれの選択肢から選び，丸をつけよ。

1. オスがメスより少ない集団を仮定する。
2. その際，平均的にオスが得られる配偶者の数はメスより [(カ) 多く・少なく]，得られる子供の数は [(キ) 多く・少なく] なる。
3. そのため次世代に占めるオス 1 個体由来の遺伝子の割合はメス 1 個体由来の遺伝子の割合よりも平均的に [(ク) 高く・低く] なる。
4. もしも，オスの中にメスよりも遺伝的にオスをより多く生む遺伝子を持つ個体が存在する場合，この遺伝子を持たない個体の遺伝子よりも集団内に占める遺伝子の割合は [(ケ) 高く・低く] なる。
5. したがって，オスを生みやすい遺伝子は集団内に広がりオスの割合は [(コ) 高く・低く] なる。
6. $p = (1-p)$ の状態に近づくとオスの繁殖における優位性は [(サ) 強まる・弱まる]。
7. 以上のことはオスをメスと読み替えても成り立つため，$p = (1-p)$ に近づく。