

前期 理系

2021年度入学試験学力検査問題

理 科・地理歴史・数 学 ※数学は、数理科学科志望者のみ

理学部，都市環境学部：地理環境学科—150分
 都市環境学部(都市政策科学科 文系区分を除く)，
 システムデザイン学部(インダストリアルアート学科を除く) 75分

答案用紙

- ・物 理 3枚 ・化 学 3枚 ・生 物 3枚
- ・地 学 3枚 ・地 理 3枚 ・数 学 3枚

注 意

1. 監督員の合図があるまで，問題の内容を見てはいけません。
2. 数学は，筆記用具のほか定規，コンパスの使用を認めます。
ただし，分度器の使用は認めません。
3. 受験番号及び氏名は，答案用紙の所定欄に必ず記入してください。

(例) 受験番号 1234567X の場合 →

	1	2	3
4	5	6	7 X

4. 解答には黒鉛筆またはシャープペンシルを使用し，必ず配付された答案用紙に記入してください。
 答案用紙には，解答に関係のないことを記入してはいけません。
5. 字数指定の設問で解答欄にマス目が用意されている場合，アルファベット及び数字は，1マスに2字記入しても構いません。
6. 問題は次に示したページにあります。
 - ・物 理 1ページ～9ページ ・化 学 10ページ～17ページ
 - ・生 物 18ページ～33ページ ・地 学 34ページ～42ページ
 - ・地 理 43ページ～50ページ ・数 学 51ページ～52ページ
7. 試験中に不鮮明な印刷等に気付いた時は，手をあげて監督員に申し出てください。
8. 答案用紙を切り取ったり，持ち帰ったりしてはいけません。
9. 問題冊子の余白は利用可能ですが，どのページも切り離してはいけません。
10. 問題冊子は，持ち帰ってください。また，試験終了時刻まで退室できません。

生 物

すべての問いについて、解答は答案用紙の指定された枠内に収めること。

1 次の文章を読み、以下の問1～問7に答えなさい。

細胞膜は主にリン脂質からなる脂質の二重層と膜内に存在するいろいろな種類のタンパク質から構成されている(図1)。この脂質二重層は、細胞外に面した外層と細胞質に面した内層からなる。細胞膜に存在する輸送タンパク質は、適合する物質を選択的に透過させたり輸送したりすることによって、細胞の中と外で物質濃度に差を生じさせる。⁽¹⁾一方、細胞膜に存在する受容体タンパク質は、細胞外に存在する情報伝達物質と結合すると、細胞外から細胞内へと情報を伝達する。細胞外から細胞内への情報伝達は、脂質二重層の外層と内層の組成が変化することによっても起こる。脂質二重層に存在するコレステロールは、内層と外層の間を自由に行き来する脂質の1つだが、コレステロールを内層から外層へと輸送する働きをもつ輸送タンパク質Aによって内層よりも外層に多く含まれている(図1)。ここで、細胞膜にある受容体タンパク質Bに、情報伝達物質bが結合すると、輸送タンパク質Aの働きが変化し、脂質二重層の内層におけるコレステロールが増加する。⁽²⁾増加した内層のコレステロールに細胞質内の特定のタンパク質が結合することによって、細胞増殖シグナルが細胞内へと伝達される。⁽³⁾また、外層にのみ存在する脂質として、頭部に特定の構造を有する脂質Cがある⁽⁴⁾(図1)。脂質Cは、コレステロールとは異なり、内層と外層の間を自由に行き来できない。

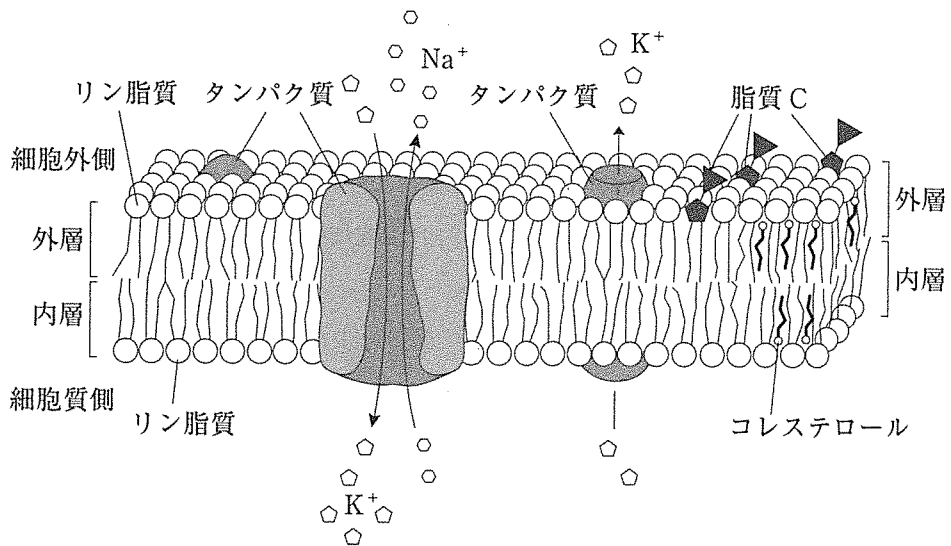


図1 細胞膜の模式図(脂質Cの五角形の部分を頭部と呼ぶ)

問1 リン脂質は、グリセリンにリン酸を含む分子が1分子、脂肪酸が2分子結合している。1分子のグリセリンに3分子の脂肪酸が結合している分子は、親水性と疎水性のどちらの性質を示すと考えられるか、理由とともに答えなさい。

問2 下線部(1)に関して、能動輸送と受動輸送の違いを説明しなさい。

問3 下線部(2)に関して、神経細胞や筋細胞などの興奮性細胞ではどうして負の静止膜電位が生じるのか、そのしくみについて説明しなさい。

問4 下線部(3)のコレステロールを介した細胞増殖の調節の例において、「細胞増殖シグナルの伝達は、情報伝達物質bが輸送タンパク質Aの働きを制御して内層におけるコレステロールを増加させるために起こる」という仮説を立てた。この仮説を検証するために行った次の(ア)~(ウ)の実験において、括弧内のどちらの語句を選ぶと、実験の内容と結果の組み合わせが仮説を支持することになるか。解答欄には選んだ語句を記入しなさい。

実験(ア)：情報伝達物質 b が存在するときに、タンパク質 A の働きを(阻害する・促進させる)と、細胞内の細胞増殖シグナルが弱くなることを確認した。

実験(イ)：情報伝達物質 b が存在しないときに、タンパク質 A の働きを(阻害する・促進させる)と、細胞内の細胞増殖シグナルが強くなることを確認した。

実験(ウ)：情報伝達物質 b が存在しないときに、脂質二重層の内層におけるコレステロールを(増やす・減らす)と、細胞内の細胞増殖シグナルが強くなることを確認した。

問 5 さらに次の実験(エ)を行った。この実験(エ)から導き出される結論として最も適切なものを以下の(a)～(e)の中から1つ選び、記号で答えなさい。

実験(エ)：細胞外に情報伝達物質 b を添加してその濃度を高くする一方で、脂質二重層の外層と内層のコレステロールは、情報伝達物質 b を添加した後も、実験前に比べて変化しないようにすると、細胞内の細胞増殖シグナルが、情報伝達物質 b を添加する前より強くなった。

- (a) 情報伝達物質 b による細胞増殖シグナルの伝達には、受容体タンパク質 B は必要ではない。
- (b) 情報伝達物質 b による細胞増殖シグナルの伝達には、コレステロールが存在することは必要ではない。
- (c) 情報伝達物質 b による細胞増殖シグナルの伝達には、内層のコレステロールの増加だけで十分である。
- (d) 情報伝達物質 b による細胞増殖シグナルは、内層のコレステロールの増加以外の方法でも伝達される。
- (e) 情報伝達物質 b による細胞増殖シグナルは、内層のコレステロールを増加させることでしか伝達されない。

問 6 脂質二重層は、小胞体で合成された後にゴルジ体へと運ばれる。それが、さらに小胞となって移動し、細胞膜に融合して付加される。下線部(4)の脂質 C は、ゴルジ体で特定の酵素の働きによって頭部の化学構造が変化して作られる。脂質 C の頭部の構造を変化させる酵素は、ゴルジ体の内部にあることが必要か、ゴルジ体の外部(細胞質側)にあることが必要か、理由とともに答えなさい。

問 7 コレステロールを介する細胞増殖の制御は、炎症にも関わると考えられている。ヒトで炎症を起こす器官の 1 つに虫垂があげられる。虫垂は機能を失って痕跡的にしか残っていない器官(痕跡器官)であるが、虫垂以外のヒトの痕跡器官を 1 つあげ、ヒトではない脊椎動物での機能とあわせて答えなさい。

2 次の文章を読み、以下の問1～問3に答えなさい。

光周性とは、1日のうちの昼夜の長さの変化によって引き起こされる生物の反応である。植物における花芽形成は、さまざまな外的要因や内的要因によって制御されるが、日長は特に重要な外的要因である。植物には、花芽形成を促進する日長条件により短日植物(短日条件により花芽形成が促進される植物)と長日植物(長日条件により花芽形成が促進される植物)がある。これらの植物では、日長シグナルにより、茎頂の先端部(茎頂分裂組織)における葉の形成が花の形成へと転換され、花芽分裂組織が作られる。被子植物の花は、花芽分裂組織が4つの異なる花器官(がく片、花弁、おしべ、めしべ)に分化して形成される。

問1 自然条件下では、昼と夜という明暗サイクルが成り立っている。そのため、植物は昼の長さ(明期)と夜の長さ(暗期)のどちらの長さを測定しても日長の変化を感受することができると考えられる。そこで、植物は明期と暗期のどちらを測定しているのかを調べるために以下の【実験1】を行った。その結果から、植物が日長の変化を感受するために測定しているのは明期の長さと暗期の長さのどちらと考えられるか、理由とともに答えなさい。

【実験1】 短日植物と長日植物の花芽形成に対する明暗サイクルの効果を4通りの条件下で調べ、図2の結果を得た。

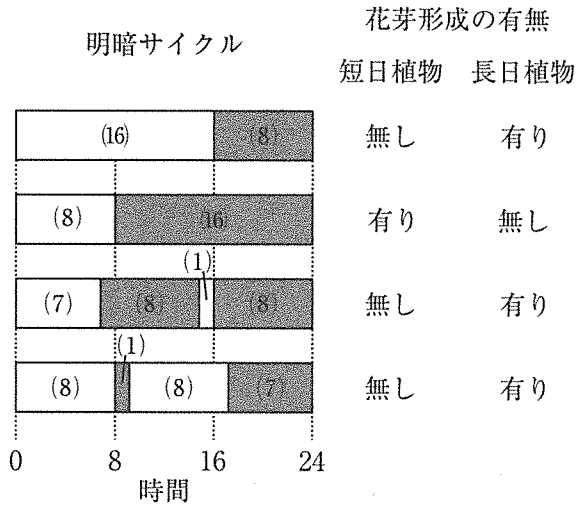


図2 明暗サイクルと花芽形成の有無

4通りの明暗サイクル(白色は明期, 灰色は暗期, 括弧内の数字は時間)の下で, 短日植物と長日植物を栽培したときの花芽形成の有無を示す。

問2 ある長日植物を材料として, 長日条件でも花芽形成が促進されない変異体 x を得て, 野生型との比較からその原因遺伝子 X を特定した。野生型では, この遺伝子 X の mRNA はただちにタンパク質 X に翻訳され, このタンパク質 X が存在すると花芽形成が促進されることが示された。しかし, 変異体 x では遺伝子 X の mRNA は検出されなかった。タンパク質 X がどのように日長に応答して花芽形成を調節するのかを調べるため, 以下の【実験2】を行った。その結果をもとに, (1)と(2)に答えなさい。

【実験2】 野生型, 変異体 x とも, それぞれ短日条件(8時間明期, 16時間暗期)と長日条件(16時間明期, 8時間暗期)で育てた。野生型について, 遺伝子 X の mRNA 量を測定した結果, 短日条件, 長日条件どちらにおいても図3の破線で示すような24時間周期の変動を示した。一方, タンパク質 X の蓄積を明期開始から15時間後に調べた結果, 長日条件ではタンパク質 X の蓄積が確認されたが, 短日条件ではタンパク質 X は検出されなかった。

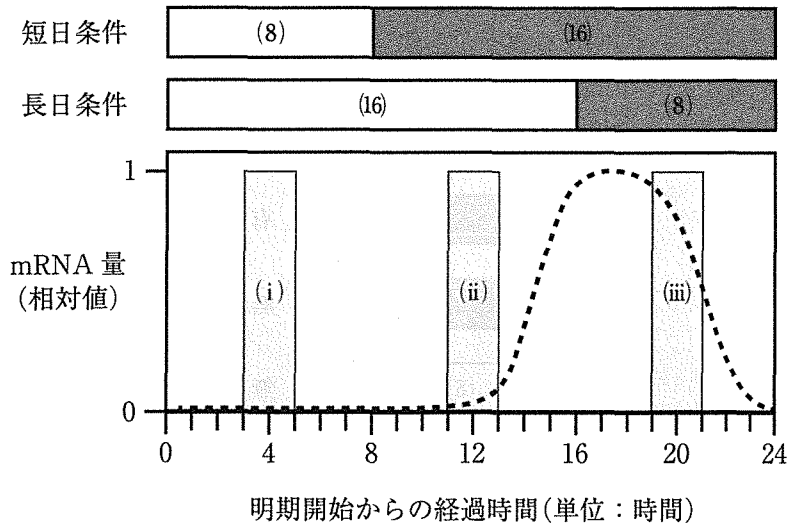


図3 明期開始からの経過時間にもなう遺伝子 X の mRNA 量の変動
 短日条件, 長日条件にかかわらず, 遺伝子 X の mRNA 量の変動は破線のように
 になった。日長条件の白色部は明期を, 灰色部は暗期を, 括弧内の数字は時間を
 示す。(i), (ii), (iii)は変異体 x において人為的に遺伝子 X の mRNA を発現させた
 時間帯を示す。

- (1) このタンパク質 X の性質としてもっとも適していると考えられるものを以下の(ア)~(エ)の中から1つ選び, 記号で答えなさい。
- (ア) タンパク質 X は明所では不安定でただちに分解されるが, 暗所では安定で分解されない。
 - (イ) タンパク質 X は明所では安定で分解されないが, 暗所では不安定でただちに分解される。
 - (ウ) タンパク質 X は明所でも暗所でも安定で分解されない。
 - (エ) タンパク質 X は明所でも暗所でも不安定で分解される。

(2) 変異体 x において、図 3 の(i), (ii), (iii)で示す時間帯に遺伝子 X を人為的に発現させた。遺伝子 X の mRNA は発現させた時間帯にのみ存在し、その間の mRNA 量は図 3 の相対値 1 に相当するものとする。以下の(オ)~(コ)について、花芽形成が促進されると期待されるものに○を、そうでないものに×を記入しなさい。

- (オ) 短日条件下で(i)の時間帯に遺伝子 X を発現させた場合
- (カ) 短日条件下で(ii)の時間帯に遺伝子 X を発現させた場合
- (キ) 短日条件下で(iii)の時間帯に遺伝子 X を発現させた場合
- (ク) 長日条件下で(i)の時間帯に遺伝子 X を発現させた場合
- (ケ) 長日条件下で(ii)の時間帯に遺伝子 X を発現させた場合
- (コ) 長日条件下で(iii)の時間帯に遺伝子 X を発現させた場合

問 3 一般的な双子葉植物の花器官は花芽分裂組織から形成される。図 4 に示すように、花の構造は四重の同心円状領域からなり、外側から、がく片(領域 1)、花弁(領域 2)、おしべ(領域 3)、めしべ(領域 4)の順に 4 種類の花器官が並ぶ。ある種の植物では、同心円状領域 1~4 のそれぞれで形成される花器官が他の花器官に置き換わった突然変異体の解析から、隣接する 2 つの領域で働く花器官を形成する 3 つの遺伝子(花器官決定遺伝子)の存在が明らかにされている。領域 1 と領域 2 で働く遺伝子を A 遺伝子、領域 2 と領域 3 で働く遺伝子を B 遺伝子、領域 3 と領域 4 で働く遺伝子を C 遺伝子とし、この 3 つの花器官決定遺伝子 A, B, C の機能の組み合わせによって 4 種類の花器官の形成が決まる。A 遺伝子のみが働くとがく片が形成され、A 遺伝子と B 遺伝子が働くと花弁が、B 遺伝子と C 遺伝子が働くとおしべが、C 遺伝子のみが働くとめしべが形成される。また、A 遺伝子と C 遺伝子は互いの働きを抑制する拮抗^{きっこう}関係にあり、どちらかの機能が失われるともう一方が機能を失った遺伝子が作用していた領域で働く。この現象に関して、以下の(1)~(3)に答えなさい。

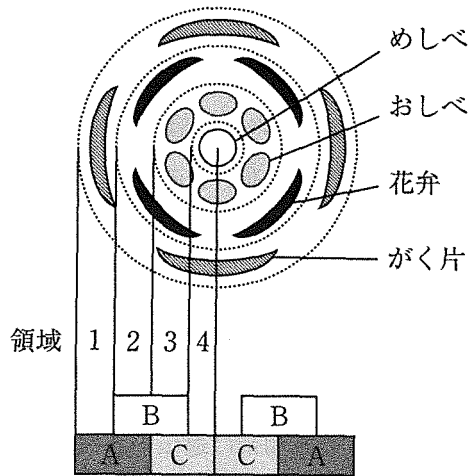


図4 一般的な双子葉植物の花の同心円状構造(模式図)

同心円状の領域1～4における4つの花器官(がく片, 花弁, おしべ, めしべ)と花器官を決定する3つの遺伝子A, B, Cの関係を示す(詳細については問題文を参照)。

- (1) 下記の3つの突然変異体それぞれについて, 領域1～4のそれぞれに形成される花器官を答えなさい。解答欄の領域1～4のそれぞれに, がく片, 花弁, おしべ, めしべのいずれかを記入すること。

- A 遺伝子を欠損した突然変異体 I
- B 遺伝子を欠損した突然変異体 II
- C 遺伝子を欠損した突然変異体 III

- (2) 遺伝子組換え技術を用いて, B 遺伝子を領域1～4のすべてにおいて発現させた形質転換体 IV を作製した。この植物体の領域1～4のそれぞれで形成される花器官はどうなるか, (1)と同様に答えなさい。

- (3) 先の(1)に示す突然変異体 I と II を交配して種子を得た。この種子から育てたすべての植物体(第一世代)の花の構造は野生型と同じであった。第一世代の植物体を自家受粉させて得た種子から育てた第二世代の植物体の花の構造を予想して答えなさい。ただし、A 遺伝子と B 遺伝子は異なる染色体に存在しているとする。

3 次の文章を読み、以下の問1と問2に答えなさい。

ミトコンドリアは細胞小器官の一つであるが、その中にミトコンドリア DNA を含む。ミトコンドリアは細胞内で分裂するため、1つの細胞の中に複数のミトコンドリアが存在する。リスなどの哺乳類では、卵細胞の中のミトコンドリアのみが子に伝わる。

図5に示す調査区(2 km × 4 km)は、かつては全域が森林に覆われ、そこには森林に生息するリスの1種(以下リスと呼ぶ)が生息していた。このリスの平均寿命はおよそ3年である。40年前から2年間にわたり調査区の一部が新興住宅地として一斉に開発され、住宅地の中には6つの森林(森林1～6)が残された。この調査区において以下の【実験3】を行った。

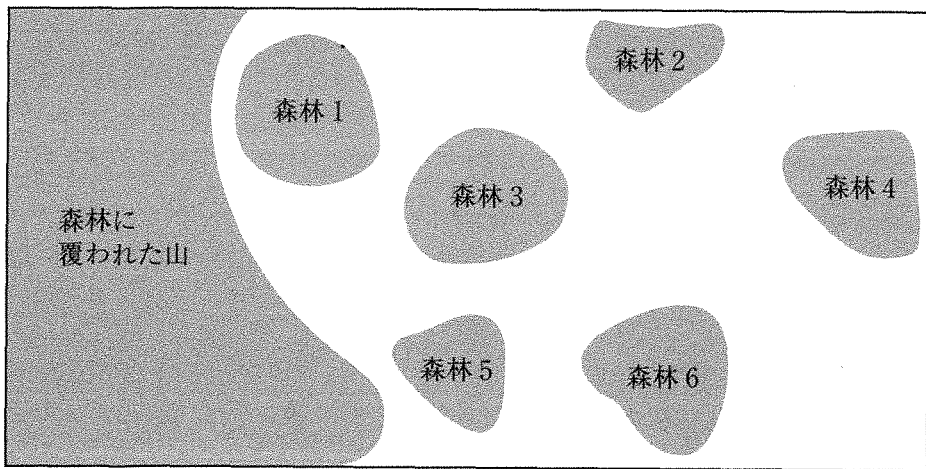


図5 調査区

灰色の部分は森林を、白色の部分は建物や道路などの住宅地を示す。

【実験3】 新興住宅地としての一斉開発が完了した38年前に、調査区に生息するリスを全て捕獲し、毛根ごと数本の体毛を採取した後、元の場所に放した。毛根からDNAを抽出し、ミトコンドリアDNAのD-loopと呼ばれる領域の塩基配列を全個体について決定した。D-loopと呼ばれる

領域は 270 塩基からなり、表 1 に示すような 5 つの塩基配列型 A, B, C, D, E が区別された。森林に覆われた山と住宅地の中に残る 6 つの森林(森林 1～6)に生息するリスの 7 集団について、それぞれの塩基配列型を持っていたリスの個体数をまとめた結果が表 2 である。今から 1 年前にも全く同様の調査を行ない、表 3 の結果を得た。

表 1 リスのミトコンドリア DNA のうち、270 塩基からなる D-loop 領域の 5 つの塩基配列型(塩基配列型 A と異なる塩基対を太字で示す)

塩基配列型	270 塩基中の位置			
	45 番目	67 番目	125 番目	203 番目
A	T	G	A	C
	A	C	T	G
B	A	G	A	C
	T	C	T	G
C	A	T	A	C
	T	A	T	G
D	T	G	C	C
	A	C	G	G
E	T	G	A	G
	A	C	T	C

表2 今から 38 年前のリスの 7 集団(森林に覆われた山と森林 1 ~ 6)において、
各塩基配列型をもつリスの個体数

塩基配列型	森林に覆 われた山	森林 1	森林 2	森林 3	森林 4	森林 5	森林 6
A	24	4	4	6	6	4	6
B	20	4	4	2	4	4	2
C	16	2	2	4	2	2	4
D	24	6	4	6	6	4	6
E	16	4	2	2	2	2	2
合計個体数	100	20	16	20	20	16	20
遺伝的多様度 h	0.79	(a)	0.78	0.76	0.76	0.78	0.76
塩基配列型数	5	5	5	5	5	5	5

この表には、問題文にある遺伝的多様度 h の値と塩基配列型数も示されている。

表3 今から 1 年前のリスの 7 集団(森林に覆われた山と森林 1 ~ 6)において、
各塩基配列型をもつリスの個体数

塩基配列型	森林に覆 われた山	森林 1	森林 2	森林 3	森林 4	森林 5	森林 6
A	22	6	4	10	2	4	8
B	20	4	10	2	16	4	6
C	18	2	0	0	0	4	0
D	22	6	2	6	2	4	6
E	18	2	0	2	0	0	0
合計個体数	100	20	16	20	20	16	20
遺伝的多様度 h	0.80	0.76	0.53	0.64	0.34	0.75	0.66
塩基配列型数	5	5	3	4	3	4	3

表 2 と同様、遺伝的多様度 h の値と塩基配列型数も示されている。

問 1 ある集団の遺伝的多様度 h は次の一般式で計算する。

$$h = 1 - (p_1^2 + p_2^2 + p_3^2 + \dots + p_n^2)$$

ここで $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$ は、 n 種類の塩基配列型のうち、各型をもつ個体数を総個体数で割ったものである(つまり $p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n = 1$)。

この遺伝的多様度 h に関して、以下の(1)~(5)に答えなさい。

(1) 表 2 と表 3 には、リスの 7 集団における遺伝的多様度 h が示されている。表 2 の(a)の値を求めなさい。

(2) 遺伝的多様度 h のような指数では、それが一定の範囲の値をとることによって、集団間での相対的比較が可能になる。遺伝的多様度 h の値のとり得る範囲として正しいものを以下の(ア)~(ク)の中から 1 つ選び、記号で答えなさい。

(ア) $0 < h < 1$ (オ) $-1 < h < 1$

(イ) $0 \leq h < 1$ (カ) $-1 \leq h < 1$

(ウ) $0 < h \leq 1$ (キ) $-1 < h \leq 1$

(エ) $0 \leq h \leq 1$ (ク) $-1 \leq h \leq 1$

(3) 遺伝的な多様性として、遺伝的多様度 h だけでなく、観察された塩基配列型数を使うことがある。しかし、表 2 と表 3 に示すように、塩基配列型数と遺伝的多様度 h の値は必ずしも相関しているわけではない。塩基配列型数が同じでも、遺伝的多様度 h の値がより高い値を示す集団にはどのような特徴があるか答えなさい。

(4) ミトコンドリア DNA の D-loop 領域からはタンパク質は作られない。
この領域の塩基配列の違いに基づいて遺伝的多様性を調べようとした理由として最も適切と考えられるものを以下の(ケ)~(シ)の中から1つ選び、記号で答えなさい。

- (ケ) 自然選択により、生存に有利な塩基配列をもつ個体が残っていると
考えられるため
- (コ) 自然選択により、塩基配列が変化しないように維持されていると考
えられるため
- (サ) 自然選択の作用を受けない塩基配列の変化が多く蓄積していると思
えられるため
- (シ) 自然選択の作用を受けないので、塩基配列の変化が起こりにくいと
考えられるため

(5) 今から38年前(表2)と1年前(表3)の結果を比較すると、リスの遺伝的多様度 h の値に違いが認められる。どのような違いがあるか説明しなさい。また、その違いを引き起こした原因について考えられることを述べなさい。

問2 このリスは、成体になると特定の範囲に定住する。その範囲を行動圏という。各個体の行動圏を知るために、次の【実験4】を行った。その結果に基づき、以下の(1)~(3)に答えなさい。

【実験4】 図5の森林に覆われた山において、新たに500m四方の調査区を設置し、その中に棲む成体のリス全個体について小型発信機を装着した。1時間毎に各個体の位置を地図上に記録し、1ヶ月間にわたって得られたすべての位置の外周を行動圏とした。そうして得られた行動圏をオスとメスに分けて示したのが図6である。この図には、各個体の塩基配列型 A, B, C, D, E についても示す。

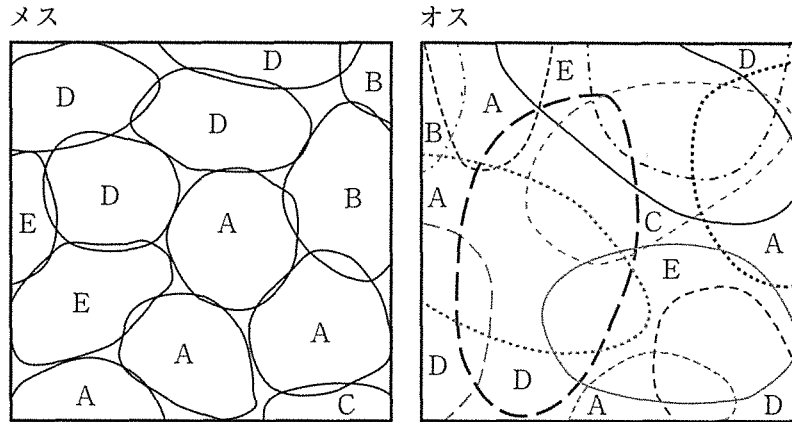


図6 成体のリスの行動圏

500 m 四方の1つの調査区で得られた結果であるが、わかりやすくするために、向かって左側にメスの結果を、右側にオスの結果を分けて描く(オスでは各個体の行動圏を明瞭にするために異なる線を用いて描く)。実際の調査区では、両方を重ねた状態となっている。

- (1) オスとメスの行動圏にはどのような違いがあるか説明しなさい。
- (2) このような行動圏をもつ哺乳類でみられる生態的特徴として、最も適切なものを以下の(ス)~(タ)の中から1つ選び、記号で答えなさい。
 (ス) 一夫一妻制 (セ) 集団の性比の偏り (ソ) 順位制 (タ) 渡り
- (3) 各個体の塩基配列型 A~E の情報から、このリスの生態について考えられることを述べなさい。